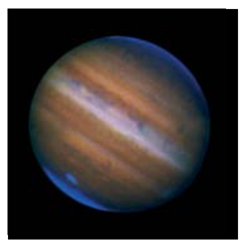
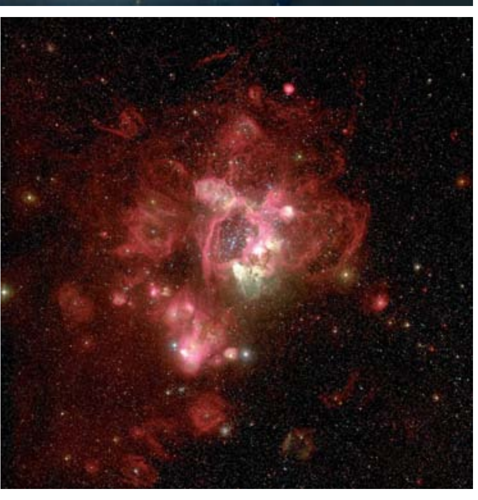





100 Conceptos básicos de Astronomía








100 Conceptos básicos de Astronomía

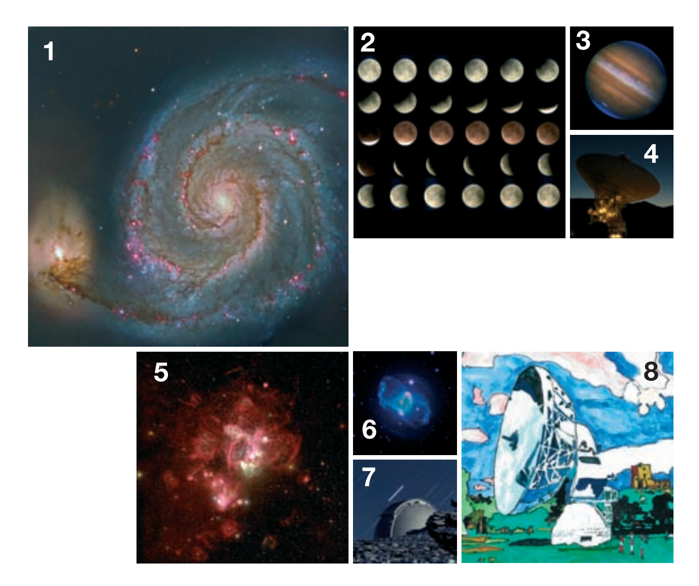
Coordinado por:

Julia Alfonso Garzón
LAEX, CAB (INTA/CSIC)

David Galadí Enríquez
Centro Astronómico Hispano-Alemán (Observatorio de Calar Alto)

Carmen Morales Durán
LAEX, CAB (INTA/CSIC)

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas»



1. Galaxia M51 tomada por el instrumento OSIRIS en el GTC. Créditos: Daniel López (Instituto de Astrofísica de Canarias).
2. Eclipse de Luna en noviembre de 2003. Créditos: Fernando Comerón (Observatorio Europeo Austral).
3. Imagen infrarroja que muestra en falso color la huella dejada por un reciente impacto, posiblemente cometario, en la atmósfera de Júpiter. En azul se ven las regiones más altas: el propio impacto, la Gran Mancha Roja y las nieblas polares. Créditos: Santiago Pérez Hoyos (Universidad del País Vasco).
4. Antena DSS63 de la estación de Robledo de Chavela. Créditos: F. Rojo (MDSCC), Juan Ángel Vaquerizo (Centro de Astrobiología).
5. Nebulosa N44 en la Gran Nube de Magallanes. Créditos: Fernando Comerón (Observatorio Europeo Austral).
6. Nebulosa planetaria NGC 6309. Créditos: Martín A. Guerrero (Instituto de Astrofísica de Andalucía).
7. Trazas de estrellas y telescopio 3,5m del Observatorio de Calar Alto. Créditos: Felix Hormuth (Observatorio de Calar Alto).
8. Ilustración de las instalaciones del Centro Europeo de Astronomía Espacial (ESAC) en Villafranca del Castillo (Madrid). Créditos: Manuel Morales.

100 Conceptos básicos de Astronomía

Emilio Alfaro Navarro
Julia Alfonso Garzón (coord.)
David Barrado Navascués
Amelia Bayo Arán
Javier Bussons Gordo
José Antonio Caballero Hernández
José R. Cantó Domenech
Elisa de Castro Rubio
Sébastién Comerón Limbourg
Telmo Fernández Castro
David Galadí Enríquez (coord.)
Ramón García López
Anaís González Cristal
Artemio Herrero Davó
Mariana Lanzara
Javier Licandro Goldaracena
Javier López Santiago
Mercedes Mollá Lorente
Benjamín Montesinos Comino
Carmen Morales Durán (coord.)
Santiago Pérez Hoyos
Ricardo Rizzo Caminos
Dolores Rodríguez Frías
Inés Rodríguez Hidalgo
Alejandro Sánchez de Miguel
Pablo Santos Sanz
Juan Ángel Vaquerizo Gallego

Miembros de la Sociedad Española de Astronomía



Edita:



NIPO: 078-09-002-6
Depósito Legal: M-51.749-2009

Diseño y producción: Edycom, S.L.

Tirada: 5.000 ejemplares
Fecha de edición: diciembre de 2009

ÍNDICE

P

R

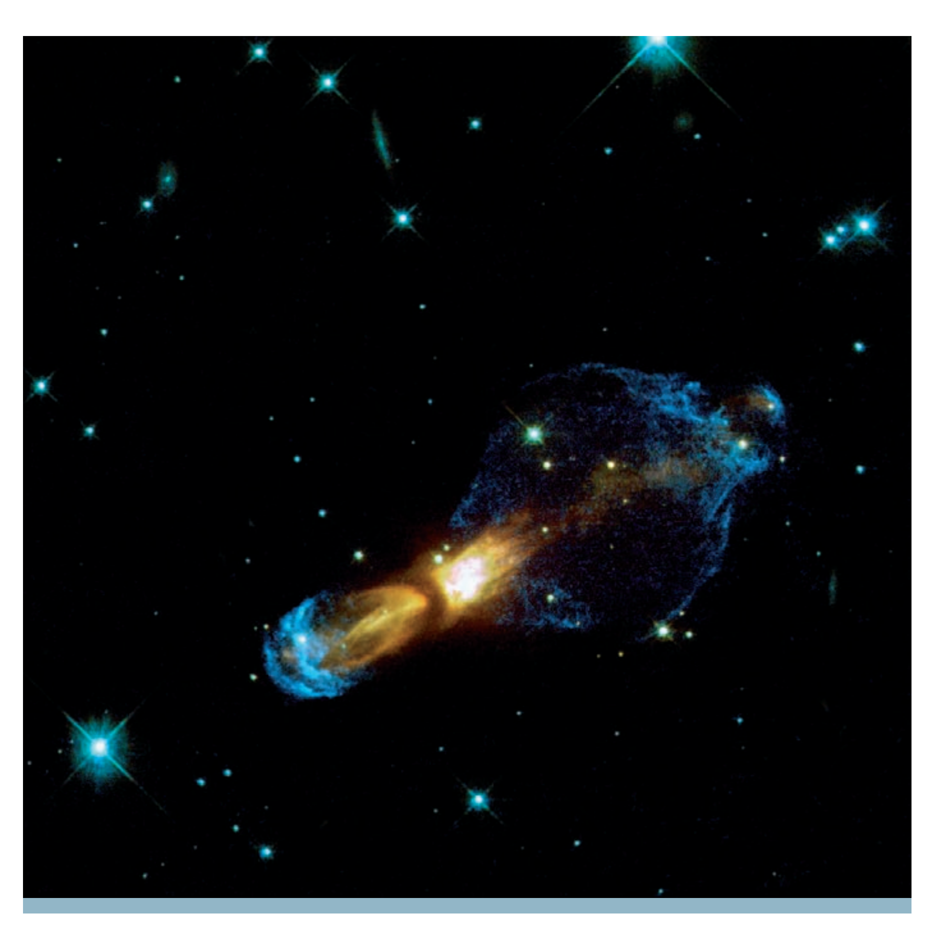
S

T

U

V

Z



Nebulosa planetaria de la calabaza. Créditos: Valentin Bujarrabal (Observatorio Astronómico Nacional).



PRÓLOGO

Durante 2009, Año Internacional de la Astronomía, hemos tratado de acercar esta ciencia a la sociedad: ¿Cuáles son los objetivos, logros y trabajos cotidianos de los astrónomos? ¿En qué medida la investigación del Universo responde a las aspiraciones culturales de nuestro mundo? ¿Cómo se enlaza la historia de la astronomía con el desarrollo de las sociedades y el conocimiento?

El diccionario que ahora tiene en sus manos trata de acercar la astronomía al público de habla hispana. El uso de términos más o menos oscuros necesarios para describir fenómenos poco conocidos o para definir aspectos con fronteras poco claras puede alejar al lector de la astronomía. El objetivo de este libro es acercarlo a ella mediante la transmisión de esos términos y conceptos de forma clara, amena y reconfortante para el espíritu inquieto de aquél que se acerque a su lectura. El libro no está dirigido a los astrónomos profesionales que usan esta terminología y que puedan tener dudas en la precisión de algunas definiciones. Existen otros diccionarios especializados con este propósito. Éste se dirige a los lectores de libros de divulgación y revistas que quieran conocer algunos términos, así como al profesorado y alumnado de enseñanza secundaria. Pero además, su diseño permite utilizarlo como una introducción a la astronomía. La lectura sistemática, en lugar de la búsqueda de entradas específicas, hace posible gozar de un paseo por los distintos campos de esta ciencia con distintos niveles de profundidad.

El esfuerzo realizado por los coordinadores para la homogeneización de nivel y estilo hacen que la lectura de esta obra sea fácil y atractiva. Destaca el esfuerzo realizado para ilustrar el texto con imágenes llamativas, repletas de contenido científico a la vez que belleza, y la mayoría de las cuales proceden de autores y telescopios españoles. Es un detalle de agradecer en esta era dominada por las imágenes del telescopio *Hubble* y las misiones espaciales. El índice alfabético incrementa la utilidad de la obra, al permitir el acceso directo a multitud de conceptos que aparecen explicados en el texto, aunque no cuenten con una entrada específica.

Si ha conseguido leer estas palabras antes de ojear el libro, no dude en ir de inmediato a comprobar la definición de algún término astronómico del que haya oído hablar. Después, enfrásquese en la lectura de uno tras otro, aprovechando las conexiones entre ellos, y le aseguro que terminará con un conocimiento nuevo del Universo en el que vivimos, más amplio, con la perspectiva de siglos de investigación que han construido un acervo cultural científico imprescindible para el hombre moderno. Además habrá podido disfrutar de grandes momentos de inspiración, sorpresa y asombro.

Álvaro Giménez Cañete

Director del Centro de Astrobiología (INTA-CSIC)



EL ORIGEN DE ESTA INICIATIVA

Con motivo del Año Internacional de la Astronomía todos los astrónomos, aficionados y profesionales, hemos hecho un gran esfuerzo para acercar esta ciencia a todo el mundo. En particular, los miembros de la Sociedad Española de Astronomía (SEA) hemos participado en muchos y variados eventos para devolver a la sociedad todo lo que hemos aprendido acerca del Cosmos en nuestro trabajo diario.

En este sentido es curioso que hace unos treinta o cuarenta años, cuando en España se comenzaba a trabajar en astrofísica, estaba mal visto hacer divulgación. No sabemos por qué eso se interpretaba como que esa persona lo que quería era darse a conocer públicamente y engordar su ego, y esto ha seguido siendo así hasta hace bien pocos años. Gracias a Dios los tiempos han cambiado y ahora todos estamos convencidos de que aumentando la formación científica de los profanos se mejora el nivel cultural de nuestra sociedad. Las cosas han cambiado hasta tal punto que en la actualidad se está empezando a tener en cuenta en el currículum de un científico las actividades de divulgación que haya realizado. La divulgación se está convirtiendo en la manera que tenemos de aportar nuestro granito de arena a la mejora intelectual de nuestra sociedad.

Por todo ello, dentro de la SEA se han desarrollado muchas actividades divulgativas durante este Año Internacional de la Astronomía 2009. La Junta Directiva de la SEA nombró a Benjamín Montesinos como coordinador de las actividades de la SEA dentro del Año de la Astronomía. Desde los primeros preparativos de estas actividades se identificó como una de las iniciativas clave, la elaboración de un «Diccionario de términos astronómicos, dirigido a los estudiantes de bachillerato y a los profesores de ciencias», citando palabras del primer mensaje de Benjamín en enero de 2008. En este mensaje pedía voluntarios para cada tarea determinada y nosotros nos ofrecimos para coordinar la participación de todos en la elaboración del diccionario.

La siguiente etapa consistió en preparar la lista de palabras que habría que definir, en la que tuvimos nuestras dudas. ¿Convenía dedicarse a un número pequeño de palabras explicadas a un nivel muy básico? ¿No sería mejor elaborar un número mayor de palabras, incluidos algunos términos más especializados? Cuando Benjamín nos comunicó el ofrecimiento de *El País* de disponer de una página de astronomía en su edición digital, en la que se publicarían artículos científicos de alto nivel, junto con imágenes y noticias de los últimos descubrimientos, pensamos que había que poner también allí la «lista larga» de términos definidos. Al mismo tiempo se pidió financiación a la entidad que administraba los fondos oficiales para la celebración del Año Internacional de la Astronomía para editar el diccionario básico, pero no se consiguió.

Nos centramos en coordinar la confección del glosario que iba a aparecer en internet. La relación de términos, unos trescientos, se envió a la lista de distribución de la SEA, solicitando que cada uno dijera cuáles de ellos quería definir. Hubo algunos solapamientos de peticiones pero en general no fue nada difícil distribuir los términos entre los socios que los pidieron. El número de palabras que ha definido cada socio ha sido muy variado, desde algunos pocos que solo han hecho una pala-



bra hasta los más trabajadores, entre los que nos contamos, que hemos hecho más de veinte. Cuando nos empezaron a llegar las primeras definiciones nos dimos cuenta de que este diccionario no iba a ser todo lo sencillo que habíamos pensado en un principio, lo cual no es de extrañar puesto que la casi totalidad de los socios de la SEA son astrónomos profesionales amantes del rigor. Sin embargo, en general se ha realizado un esfuerzo por facilitar mucho las definiciones sin incurrir en simplificaciones excesivas.

Decidimos respetar las definiciones enviadas por los socios de la SEA y, aunque se les indicó una extensión en número de palabras, lo cierto es que nos llegaron definiciones de muy distinto tamaño. A nuestro parecer vimos necesario ampliar algunas y recortar otras, sin perder su contenido esencial. También aplicamos algunos criterios generales de uniformidad terminológica y formal. Y a medida que nos iban llegando, a lo largo de este año 2009, las palabras han sido colgadas en la página de astronomía de *El País* digital. Cuando acabe este año 2009 se podrá acceder a estas definiciones en internet desde la página de la Sociedad Española de Astronomía.

En el mes de junio de 2009, el INTA ofreció al Laboratorio de Astrofísica Espacial y Física Fundamental (LAEFF) la posibilidad de editar un libro con motivo del Año de la Astronomía y no dudamos en proponer el diccionario como mejor posibilidad, ya que el contenido estaba prácticamente hecho a partir del glosario del que ya disponíamos. Pensando en la distribución en centros de enseñanza secundaria, volvimos a restringir la lista de palabras, evitando las más especializadas o unificando a veces conceptos relacionados en un solo término más general que fuera más asequible al público no especializado. Los casi trescientos términos del glosario original se convirtieron en un centenar y nos pusimos a la tarea de refundir varias definiciones o elaborar otras desde el principio, tratando de darles a todas una extensión parecida, dentro de lo posible, e intentando además dotar al conjunto de mayor coherencia expresiva y estilística, como corresponde a una obra impresa.

Quisimos que el libro incluyera el mayor número de imágenes posible para que fuese más atractivo para los estudiantes y nuevamente hicimos una petición a los miembros de la SEA para que nos enviaran imágenes de buena calidad para su publicación en el diccionario. Otra vez, la respuesta no se hizo esperar y la mayoría de las imágenes que aparecen en este libro han sido proporcionadas por astrónomos profesionales miembros de la SEA, excepto unas pocas que se han tomado de las agencias espaciales europea y americana, ESA y NASA (10 imágenes) y otras que nos han brindado algunos astrónomos aficionados (10 más) que, todo hay que decirlo, hasta ahora eran los que contaban con mayor número de imágenes espectaculares de astronomía, por aquello que decíamos antes de que la divulgación ha sido aceptada solo recientemente en la astronomía profesional.

Esperamos de todo corazón que este libro sea de mucha utilidad para el aprendizaje de la astronomía y que sirva para abrir vocaciones científicas entre los estudiantes y entre el público general.

Los coordinadores:

Julia Alfonso Garzón, David Galadí Enríquez
y Carmen Morales Durán

A

AGUJERO NEGRO

Región del espacio de cuyo interior no puede escapar ninguna señal, ni luminosa ni material, a causa de la intensísima atracción gravitatoria ejercida por la materia allí contenida.

Algunos agujeros negros, los de masa estelar, son el resultado del final catastrófico de una estrella muy masiva que implosiona tras explotar como supernova, mientras que los más masivos (agujeros negros supermasivos), que se cree que conforman el centro de la mayoría de las galaxias, se pueden formar mediante dos mecanismos: por una lenta acumulación de materia o por presión externa.

Según la teoría de la **relatividad general**, cualquier cuerpo cuya masa se comprima hasta adoptar un radio suficientemente pequeño, se convierte en un agujero negro. La superficie esférica que rodea a un agujero negro en la cual la velocidad de escape coincide con la velocidad de la luz es lo que se conoce como **horizonte de sucesos**. En el caso de un agujero negro con simetría esférica y no giratorio, esta distancia se conoce con el nombre de **radio de Schwarzschild** y su tamaño depende de la masa del agujero negro.



El agujero negro que reside en el centro de nuestra Galaxia se ha detectado por el giro vertiginoso de 28 estrellas a su alrededor. Créditos: ESO, Stefan Gillessen (MPE), F. Eisenhauer, S. Trippe, T. Alexander, R. Genzel, F. Martins, T. Ott.

AÑO-LUZ

Unidad de distancia que se utiliza en astronomía. Equivale a la distancia que recorre la luz en un año. Su valor se puede hallar multiplicando 300 000 km/s (velocidad de la luz) por 365 **días** (duración de un año) y por 86 400 (segundos que tiene un día). El resultado es 9 460 800 000 000 kilómetros (es decir, casi 9 billones y medio de kilómetros). La distancia del Sol a la Tierra es de 150 000 000 km, que equivale a 8 minutos-luz y medio, es decir, la luz que recibimos del Sol en este instante salió de él hace 8 minutos y medio.

La estrella más cercana a la Tierra (dejando aparte al Sol) es Próxima Centauri, que se encuentra a 0,2 años-luz. Una nave espacial, viajando a la veloci-

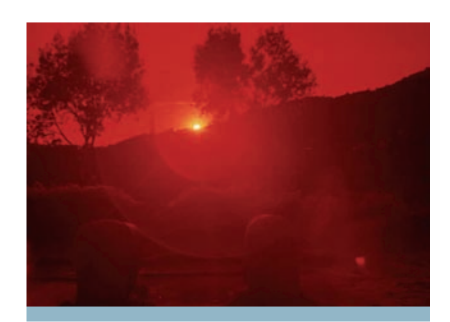
dad de un avión comercial, unos 900 km/h, tardaría más de 5 millones de años en llegar a esa estrella.

Nota: el valor exacto de la velocidad de la luz es 299 792,458 km/s, la duración del año es de 365,25 días y la distancia media Tierra-Sol es de 149 597 871 km.

ARQUEOASTRONOMÍA

Nuestro conocimiento actual de la astronomía permite y hace más fácil descubrir qué sabían del cielo los pueblos de la antigüedad. La disciplina que estudia este campo y se ocupa de la astronomía en su vertiente cultural y no propiamente como ciencia, se denomina arqueoastronomía. Es una rama compleja, ya que los registros de los que se dispone son escasos y en muchas ocasiones de difícil interpretación. Los estudios y trabajos de campo han de hacerse de forma rigurosa y huyendo de especulaciones que puedan llevar a resultados quizá llamativos, pero totalmente falsos.

La historia de la astronomía, junto con la arqueoastronomía (que estudia la astronomía de pueblos antiguos con técnicas arqueológicas) y la etnoastronomía (que estudia la astronomía de culturas actuales con técnicas etnográficas) se dedica a estudiar las relaciones entre astronomía y cultura.

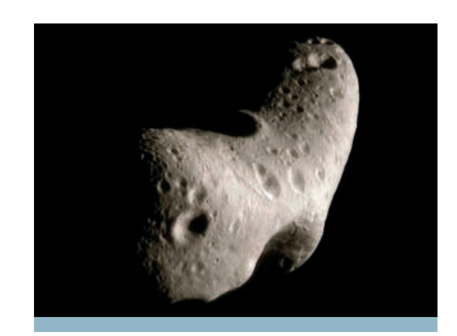


Toros de Guisando, orientados hacia la dirección de la puesta de Sol en el equinoccio el día 22 de septiembre de 1997. El Tiemblo, Ávila (España). Créditos: Juan Antonio Belmonte (Instituto de Astrofísica de Canarias).

ASTEROIDES

Son cuerpos menores del Sistema Solar, mayoritariamente compuestos de silicatos y metales. La mayoría de ellos son pequeños, de algunos metros hasta las decenas de kilómetros, y de formas muy irregulares. Unos pocos alcanzan varios cientos o hasta mil kilómetros de diámetro. Ése es el caso de Ceres, el primer asteroide, descubierto en 1801 por Giuseppe Piazzi.

Casi todos los asteroides se encuentran en la región entre Marte y Júpiter conocida como cinturón principal. Éste ha sido el primer anillo de cuerpos menores conocido (el segundo fue el transneptuniano). En las primeras etapas de la evolución del Sistema Solar se formaron millones de cuerpos de hasta algunas centenas de km de diámetro, a partir de la agregación de los silicatos y metales que abundaban en la región de los planetas terrestres. Mientras que los que se formaron en la región interior a Marte se agregaron dando lugar a los planetas terrestres, aquéllos que se formaron un poco mas allá de Marte no pudieron agregarse para formar otro planeta. La cercanía de Júpiter modificó sus órbitas de tal modo que al chocar entre sí lo hicieran a velocidades tan altas que, en lugar de agregarse para formar un objeto mayor (como le sucedió a los objetos más interiores), los objetos se fueron rompiendo en trozos más pequeños.



Asteroide (433) Eros. Reconstrucción de las imágenes tomadas por la sonda espacial NEAR-Shoemaker en febrero del 2000. Créditos: NEAR Project, NLR, JHUAPL, Goddard SVS, NASA.

No todos los asteroides están en el cinturón principal; algunos han sido eyectados de éste debido a perturbaciones gravitatorias y colisiones mutuas. Las órbitas de algunos de estos asteroides eyectados se acercan a la Tierra y todos aquellos cuya distancia mínima al Sol es menor que 1,3 veces la distancia de la Tierra son considerados como Asteroides Cercanos (o NEA, del inglés *near earth asteroids*). Algunos NEA son potencialmente peligrosos dado que pueden chocar con la Tierra.

ASTROBIOLOGÍA

En su concepto más general, la astrobiología es una rama interdisciplinar de la ciencia cuyo objetivo es el estudio del origen, la evolución y la distribución de la vida en el universo. A pesar de que la Tierra sea (de momento) el único objeto del cosmos donde sepamos que existe vida, el propósito tan ambicioso que esta disciplina científica persigue hace necesaria la colaboración de distintas ramas de la ciencia: física, química, biología, paleontología, geología, física atmosférica, física planetaria, astroquímica, astrofísica, astronáutica, etc.

Los nuevos descubrimientos astronómicos, como la posibilidad de existencia de exoplanetas (planetas que giran alrededor de otras estrellas) tipo terrestre, y la exploración de objetos astrobiológicamente interesantes en nuestro Sistema Solar (Marte, Europa, Titán…) han hecho que la opinión pública se plantee la eterna pregunta a la que la astrobiología pretende, en última instancia, contestar: ¿estamos solos en el universo?

ASTROLOGÍA

Etimológicamente, estudio o tratado de los astros. En su origen, astrología y astronomía fueron indistinguibles, pero su contenido y procedimientos se han separado con el tiempo. Desde la revolución científica, la astrología ha quedado como un conjunto de creencias sin fundamento que no siguen el método científico: una pseudociencia que no ha hecho avanzar nuestro conocimiento del universo.

Las diferentes astrologías (existen diversas tradiciones o sistemas, a menudo incompatibles entre sí) se basan en estudiar las posiciones relativas y movimientos de varios cuerpos celestes reales (Sol, Luna, planetas) o «construidos» (ejes del ascendente y del medio-cielo, casas…) tal como se ven a la hora y desde el lugar de nacimiento de una persona, o de otro suceso. Parten de la hipótesis no demostrada de que algunos astros (desde un obsoleto punto de vista geocéntrico) influyen sobre la Tierra y sus habitantes mediante fuerzas desconocidas (independientes de la distancia y propiedades físicas), condicionando u orientando sus inclinaciones, personalidad, futuro… La astrología ha fracasado como práctica predictiva y su relativo éxito solo se justifica porque sus descripciones son tan generales y ambiguas que resultan aplicables casi a cualquier persona.

ASTRONAUTA O COSMONAUTA

Se denominan astronautas o cosmonautas a las personas que viajan por el espacio exterior, más allá de la atmósfera de la Tierra. Cuesta definir dónde empieza realmente el espacio exterior, pero se suele admitir que llegar por encima de los 100 km de altitud se asemeja más a un viaje espacial que a un vuelo de aeroplano. Cabría calificar de astronauta a cualquier persona que se haya aventurado a sobrepasar esa distancia, aunque una definición algo más rigurosa requeriría además que el viaje se efectúe en un vehículo capacitado para maniobrar en órbita alrededor de la Tierra. En los medios de comunicación se suele aplicar la palabra cosmo-

nauta a los astronautas que viajan en vehículos espaciales de tecnología soviética o rusa. Esta distinción carece de sentido y en realidad las palabras astronauta y cosmonauta tendrían que usarse como lo que son: sinónimos estrictos.

El primer astronauta de la historia fue Yuri Alekséievich Gagarin (Vostok 1, 1961) y la primera astronauta, Valentina Vladímirovna Tereshkova (Vostok 6, 1963). El primer astronauta de habla hispana fue el cubano Arnaldo Tamayo Méndez (Soyuz 38, 1980).

El título de primer astronauta de nacionalidad española le corresponde a Pedro Duque Duque (Discovery STS-95, 1998 y Soyuz TMA-3, 2003).

ASTRONOMÍA

La ciencia natural del universo, en su concepto más general. La astronomía se dedica a estudiar las posiciones, distancias, movimientos, estructura y evolución de los astros y para ello se basa casi exclusivamente en la información contenida en la radiación electromagnética o de partículas que alcanza al observador. La astronomía abarca dos ramas principales: la astronomía clásica (que comprende la mecánica celeste y la astronomía de posición) y la astrofísica (que comprende todo lo demás). Casi toda la investigación astronómica moderna queda incluida dentro de esta última rama y por este motivo, en la actualidad, los términos astronomía y astrofísica funcionan como sinónimos.



Primer centro para el estudio de la Astronomía en España, en su momento dedicado a la navegación astronómica. El Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, Cádiz) fue fundado en 1753. Créditos: Real Instituto y Observatorio de la Armada.

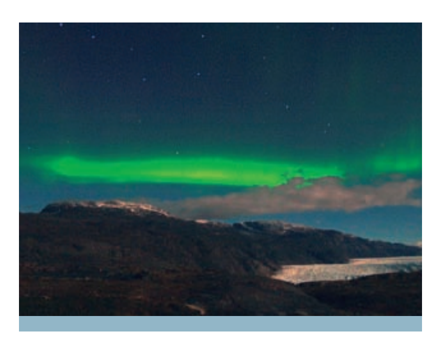
ASTROSISMOLOGÍA

Técnica astronómica que estudia las oscilaciones periódicas de las superficies de las estrellas. Las estrellas son objetos fluidos de estructura compleja que vibran con ciertos periodos naturales. Las campanas o los diapasones vibran con unas frecuencias (tonos de sonido) determinadas al golpearlas, que dependen de las propiedades físicas y de la estructura de estos objetos. Del mismo modo, la actividad interna de las estrellas hace que los astros vibren con frecuencias que dependen de su estructura y condiciones. Estas vibraciones se pueden estudiar o bien por medio de la **fotometría** (análisis de cambios minúsculos de brillo) o mediante espectroscopia. En cualquier caso, el estudio de las vibraciones estelares recibe el nombre de astrosismología y presenta muchos paralelismos con los estudios que se efectúan en la Tierra y en la Luna sobre propagación de ondas sísmicas, y que conducen a elucidar la estructura interna de estos astros rocosos. La astrosismología aplicada al Sol recibe el nombre de heliosismología.

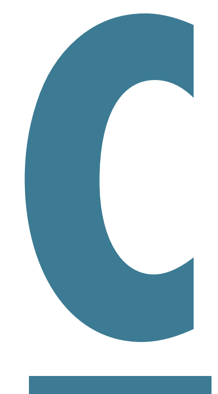
AURORA POLAR

Fenómeno luminoso que se produce en la atmósfera terrestre cuando impactan contra sus capas más elevadas partículas atómicas y subatómicas procedentes del Sol. La energía depositada por los impactos excita las moléculas de aire y las hace brillar con colores llamativos muy característicos. Dado que las partículas impactantes están cargadas, el campo magnético de la Tierra las desvía y las encauza hacia las regiones de la atmósfera cercanas a los polos magnéticos, de ahí que estos fenómenos se produzcan casi solo en las

regiones polares del planeta y que reciban, por lo tanto, el nombre de auroras polares (auroras boreales y auroras australes). Se han detectado auroras polares en otros planetas dotados, como la Tierra, de un campo magnético considerable.



Fotografía de una aurora polar en Groenlandia. A la derecha se aprecia el glaciar de Kiagtuut, mientras que en la parte superior se puede ver parte de la constelación de la Osa Mayor. Créditos: Esperanza Campo.



CALENDARIO

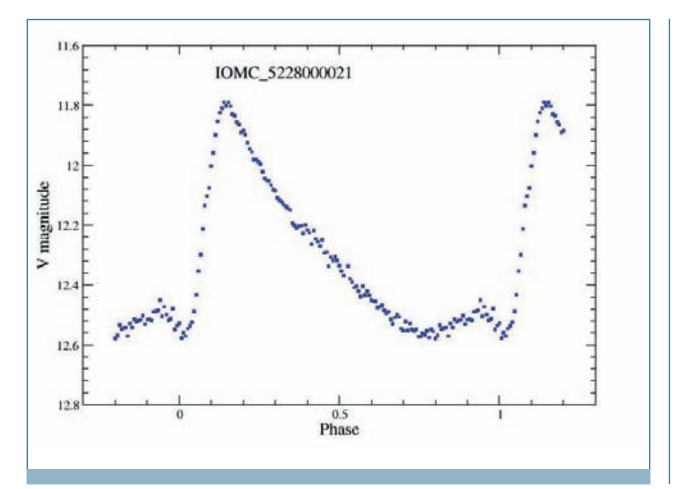
Sistema convencional de planificación y registro del tiempo adaptado a la duración de los periodos temporales relevantes para las actividades humanas y de duración superior a un día. Un calendario combina unidades de tiempo como días, semanas, meses, años y, en ocasiones, múltiplos de años. Estos periodos están basados en última instancia en fenómenos astronómicos (rotación terrestre, fases lunares, traslación terrestre). Un calendario práctico debe combinar estos periodos por unidades enteras pero, dado que estos lapsos temporales no son múltiplos unos de otros, es necesario aplicar algunas reglas convencionales que permitan efectuar esas combinaciones de manera aproximada. Cada calendario se diferencia de los demás por esas reglas de combinación. Así, los calendarios judío y musulmán realizan esfuerzos aritméticos considerables con la intención de conservar el inicio y fin de los meses acompasados con las fases de la Luna, aunque esto implique desajustes severos con las estaciones del año: se trata de calendarios de carácter *lunar*. Los calendarios occidentales, en cambio, aspiran a mantener las estaciones del año en fechas fijas, e ignoran las fa-



ses lunares: son **calendarios *solares***. Otros calendarios, más complejos, combinan ciclos tanto lunares como solares. El calendario occidental actual recibe el nombre de ***calendario gregoriano***, está en vigor en los países católicos desde 1582 y centra sus mecanismos de ajuste en mantener la duración del año civil lo más parecida posible a la duración del ciclo de las estaciones, el llamado *año trópico*.

CEFEIDA

Estrella variable intrínseca que pulsa (cambia ligeramente de tamaño), lo que induce unas alteraciones de brillo que presentan una correlación muy estrecha entre el periodo de cambio y la luminosidad. Dicho de otro modo, cuanto más brillante es una cefeida, más lentas son sus pulsaciones. Por lo tanto, al medir el periodo de pulsación de una cefeida se puede calcular cuál es su luminosidad y de ahí se puede deducir la distancia. En 1912, Henrietta Leavitt estableció la relación periodo-luminosidad de las cefeidas y descubrió cefeidas en las Nubes de Magallanes, nuestras galaxias vecinas, comprobando que las estrellas cefeidas pueden ser utilizadas como patrones para determinar distancias. El nombre de esta clase de estrellas variables procede de la constelación de Cefeo, porque en esa zona celeste se encuentra la estrella delta Cefei que sirve de prototipo para esta categoría.



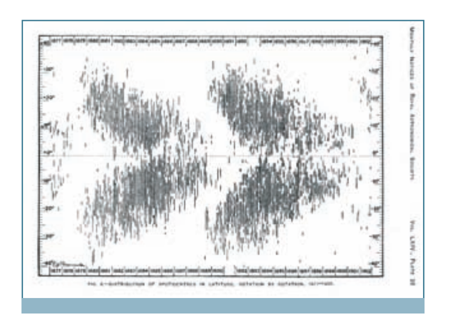
Gráfica que muestra el cambio de brillo (curva de luz) de la estrella cefeida FY Aquarii tomada con la OMC, la cámara óptica del satélite INTEGRAL. Créditos: Albert Domingo (Centro de Astrobiología).

Hay dos tipos de estrellas cefeidas: las cefeidas clásicas, que son estrellas muy jóvenes y masivas y se encuentran en zonas de formación estelar como son los brazos espirales de las galaxias; y las cefeidas de tipo W Virginis, que son estrellas más viejas y se encuentran en el núcleo y el halo de las galaxias, principalmente en los cúmulos globulares. Estos dos tipos de cefeidas poseen una relación periodo-luminosidad y una curva de luz diferentes entre sí.

CICLO SOLAR

El Sol es una estrella activa (magnética) y variable. Desde 1849 se contabiliza diariamente el número de **manchas solares** y existen registros de manchas desde 1610, cuando Galileo las observó por primera vez con telescopio. Así se ha comprobado que el número de manchas observadas aumenta desde prácticamente ninguna hasta más de cien, decrece de nuevo, y así sucesivamente, con un periodo de unos once años: *el ciclo de actividad solar*.

Durante cada ciclo, los grupos de manchas bipolares del hemisferio norte solar muestran una orientación magnética opuesta a la de los grupos del hemisferio



«Diagrama de mariposa» de Maunder, que muestra la latitud a la que aparecen las manchas solares a lo largo del ciclo solar. Se aprecia que las manchas suelen aparecer en latitudes extremas al inicio de los ciclos, y que luego se van acercando al ecuador a medida que el ciclo solar avanza. Diagrama original de *Note on the Distribution of Sun-spots in Heliographic Latitude*, de Walter Maunder.

sur, y ésta se invierte en el siguiente periodo undecenal: el auténtico ciclo magnético solar es de veintidós años. Al comienzo de un ciclo las manchas aparecen entre unos 30 y 40° de latitud y, según éste avanza, van surgiendo más cerca del ecuador. En 1902, W. Maunder publicó una representación de la distribución de la latitud del lugar de nacimiento de las manchas solares durante el periodo 1877-1902. Recibió el nombre de «diagrama de mariposa de Maunder».

También la ubicación, frecuencia e intensidad de otros fenómenos magnéticos varían a lo largo del ciclo solar. Aunque se conocen muchos detalles sobre el ciclo de actividad, su naturaleza y causas son todavía una de las grandes cuestiones abiertas de la física solar, y no disponemos de un modelo que permita predecir con fiabilidad el número de manchas en el futuro.

CLASIFICACIÓN ESPECTRAL

La forma más sencilla de comenzar a estudiar un conjunto de objetos o seres es clasificarlos en función de características comunes. La forma de clasificar las estrellas es por las características de su espectro, por lo que la llamamos clasificación espectral.

La clasificación espectral divide las estrellas en tipos espectrales y, con un refinamiento posterior, en clases de luminosidad. No obstante, en muchas ocasiones hablamos de tipo espectral para referirnos a la combinación de ambos, el tipo espectral y la clase de luminosidad.

Los tipos espectrales se definen en función de las características presentes en el espectro de las estrellas. Originalmente, los tipos espectrales fueron definidos por letras del alfabeto: A, B, C… Conforme avanzaba la clasificación, algunos tipos se refundieron, y con ellos sus letras. Posteriormente, los diferentes tipos espectrales pudieron asociarse a la temperatura de las estrellas



Edward Charles Pickering y el grupo de astrónomas con las que procedió a establecer la clasificación espectral de las estrellas a comienzos del siglo XX en el Observatorio de Harvard (E.E.U.U). La cuarta por la derecha en la fila de arriba es Annie Jump Cannon que fue la que perfeccionó el sistema de clasificación espectral y le dio la forma que actualmente utilizamos.

(lo que constituye un descubrimiento fundamental) y fueron ordenados en temperaturas decrecientes. De este modo, quedó la moderna serie de tipos espectrales: O, B, A, F, G, K, M. Esta serie ha sido recientemente extendida hacia temperaturas menores con dos nuevos tipos espectrales, el L y el T. Los tipos O tienen temperaturas superficiales de al menos 30 000 kelvin. Los tipos fríos llegan a temperaturas por debajo de 2000 K. Cada tipo espectral está dividido en diez subtipos que recibieron números del 0 (el más caliente) al 9 (el más frío).

La **clase de luminosidad** indica el tamaño de la estrella en comparación con estrellas de su mismo tipo espectral. Las clases de luminosidad se designan mediante números romanos: I, II, III, IV, V… A menor número romano, mayor tamaño de la estrella. Las clases I y II designan **supergigantes**, la clase III **gigantes**, la clase IV subgigantes y la clase V, las **enanas** de la **secuencia principal**. Menos utilizadas son las clases VI y VII, para designar a las **subenanas** y las **enanas blancas**. Nuestro Sol es de tipo G2V, es decir, una estrella de tipo espectral G2 y clase de luminosidad V.

COMETA

Los cometas (del griego *kometes* que significa «astro con cabellera») son cuerpos menores, con tamaños que van desde unos pocos metros hasta algunos kilómetros de diámetro, compuestos de hielo y silicatos. Se trata básicamente de grandes «bolas de hielo sucio». Sus órbitas, normalmente muy alargadas, los llevan a pasar la mayor parte del tiempo muy alejados del Sol, en regiones frías del Sistema Solar. Pero cuando se acercan al astro rey, se calientan y el hielo (principalmente de agua) se sublima y pasa de estado sólido a gas. Este gas, que escapa del núcleo sólido del cometa, arrastra consigo partículas de polvo y forma extensas nubes alrededor del cometa llamadas «cabellera» o «coma». Los materiales que forman la cabellera son arrastrados en sentido opuesto al Sol por el **viento solar** y dan lugar a las «colas» cometarias. Después de su paso cerca del Sol, las partículas de la cabellera y de la cola de un cometa quedan distribuidas a lo largo de su órbita y cuando la Tierra, en su giro alrededor del Sol, cruza una de estas órbitas, se producen las llamadas lluvias de estrellas. Este fenómeno se produce cuando minúsculas partículas de polvo procedentes del cometa entran en la atmósfera terrestre a gran velocidad y se desintegran por fricción, produciendo el rastro luminoso que llamamos **meteoro** o **estrella fugaz**.

Existen al menos 3 tipos de cometas: los de «corto periodo» o de la «familia de Júpiter», objetos con un periodo orbital menor que 20 años y órbitas apenas inclinadas respecto de la **eclíptica** (plano de la órbita terrestre); los de tipo «Halley», con órbitas más alargadas, periodos de decenas de años e inclinaciones que pueden ser muy grandes; y los de «largo periodo», con órbitas alargadísimas y periodos que van desde miles de años hasta objetos que han pasado por la cercanía del Sol una única vez desde los orígenes del Sistema Solar.



El gran cometa de 1997, el Hale-Bopp, fotografiado junto a la galaxia de Andrómeda y el doble cúmulo de Perseus. Créditos: Vicente Aupí (Observatorio de Torremocha del Jiloca).

CONSTELACIÓN

Cada una de las 88 regiones arbitrarias en las que se divide el firmamento con el fin de clasificar y designar los cuerpos celestes. En tiempos antiguos, se en-

tendía por constelación más bien una alineación o figura hecha con estrellas, pero el concepto actual corresponde a parcelas completas de la bóveda celeste con todo su contenido. Las fronteras entre constelaciones son totalmente arbitrarias, carecen de relación alguna con la realidad física y fueron fijadas en la década de 1930 por la Unión Astronómica Internacional. Dentro de una misma constelación se encuentran estrellas y otros objetos astronómicos de muchos tipos que carecen de relación entre ellos y no se encuentran a la misma distancia de nosotros.

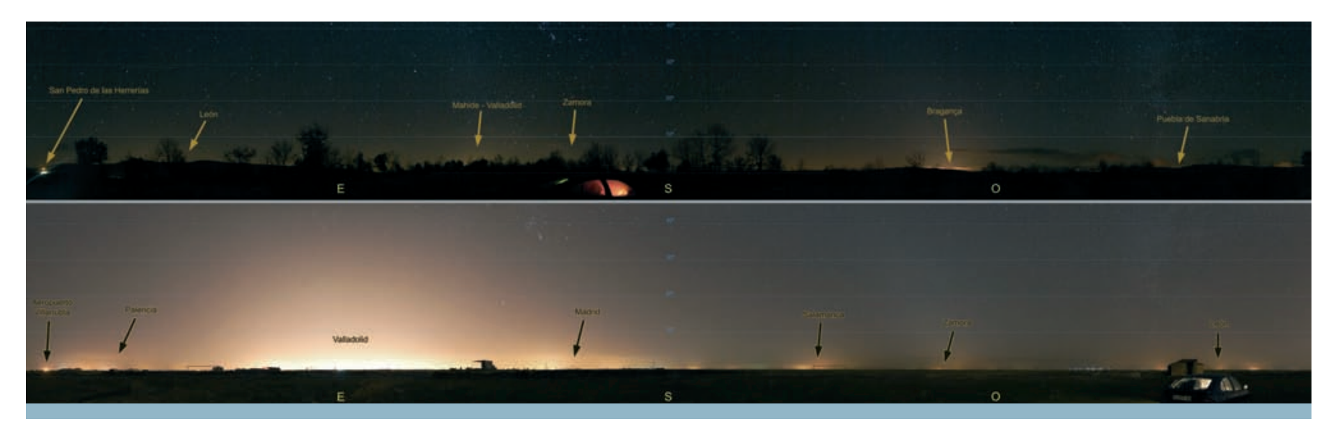
Desde las civilizaciones más antiguas que se conocen: babilonios, chinos, incas, egipcios o aborígenes australianos, ha sido costumbre darle nombre a grupos de estrellas bien visibles, como por ejemplo Orion, o Escorpión. Las constelaciones que utilizamos actualmente provienen de alguna de estas culturas antiguas y aunque sus nombres estén en latín, casi la mitad proviene de los griegos; las del zodiaco provienen de Babilonia, algunas de los árabes y las del hemisferio sur son de tiempos más recientes, cuando comenzaron los viajes de los exploradores europeos por los mares del sur.



Representación de las constelaciones en la obra de Pedro Apiano *Astronomicum caesareum* (1540).
Créditos: Real Instituto y Observatorio de la Armada.

CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Una de las definiciones más aceptadas de contaminación lumínica la describe como la emisión de flujo luminoso procedente de fuentes artificiales nocturnas con intensidades, direcciones, rangos espectrales (colores) u horarios innecesarios para las actividades que se planea desarrollar en la zona iluminada. Según esta caracterización, para que una instalación de alumbrado no se considere contaminante debería alumbrar con un flujo luminoso adecuado (no excesivamente intenso), no debe invadir fincas colindantes (lo que supondría intrusión lumínica y por tanto molestias para los



Dos panoramas nocturnos ilustran los efectos de la contaminación lumínica. Arriba, panorámica nocturna obtenida cerca de Mahide (Zamora), hacia las 10 de la noche, en un lugar medianamente oscuro. Abajo, panorama cerca de Cigüñuela (Valladolid), el 28 de enero 2008, en torno a las 20:30. Se aprecia el efecto de las luces urbanas sobre el cielo nocturno. Créditos: Fernando Cabrerizo (Sociedad Astronómica Syrma y Cel Fosc, Asociación Contra la Contaminación Lumínica).

vecinos), no debe emitir luz en colores inadecuados ni debe permanecer activa más tiempo del requerido.

Una definición más genérica identifica la contaminación lumínica con cualquier perturbación artificial de las condiciones naturales de oscuridad de la noche. Desde este punto de vista, todo alumbrado nocturno es contaminante y solo cabe tratar de diseñarlo de manera que la perturbación sea la mínima.

La contaminación lumínica, en forma de luz emitida hacia el cielo de manera directa o tras reflejarse en fachadas y pavimentos, supone una amenaza muy seria para la astronomía tanto profesional como no profesional, e implica para la población general la pérdida de la visión del cielo nocturno como parte del paisaje natural y como patrimonio cultural. Además, la contaminación lumínica implica una serie de perjuicios en otros ámbitos como el descanso nocturno de las personas (intrusión lumínica), la economía (derroche energético), el consumo de recursos no renovables o los ecosistemas (aves migratorias, insectos, etc.). A pesar de los esfuerzos en curso por combatir la contaminación lumínica, la tendencia en los países occidentales y en especial en España es a empeorar a pasos acelerados, lo que presagia un futuro poco esperanzador para la contemplación del cielo nocturno y para su estudio científico, incluso desde los observatorios más avanzados situados en nuestro territorio.

COORDENADAS CELESTES

Son los parámetros angulares que permiten establecer la posición de los astros.

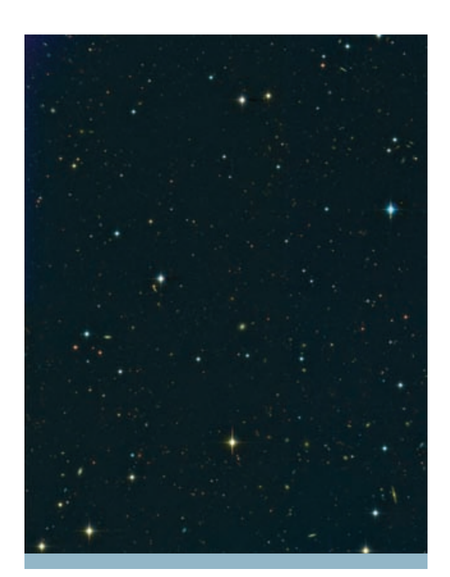
En general, la posición de los objetos en el espacio se define por medio de 3 números (coordenadas) que dan su distancia y dirección en un determinado sistema de referencia. Ahora bien, para dar la posición de los objetos celestes y construir **catálogos**, basta con utilizar dos ángulos, que nos proporcionan la dirección en que se encuentran, sin incluir la distancia. Se definen distintos sistemas de coordenadas celestes: horizontales, ecuatoriales, eclíp-

En la figura se muestra el círculo meridiano automático de San Fernando instalado en el Observatorio de San Juan (Argentina). El círculo meridiano es uno de los instrumentos más precisos empleados para la determinación de las coordenadas celestes de los astros. Créditos: Real Instituto y Observatorio de la Armada.

ticas, galácticas... Los sistemas de coordenadas difieren entre sí por los planos de referencia que utilizan como origen para la medida de ángulos, y por los criterios o convenios de medida (unidades empleadas, sentido de crecimiento de los ángulos). El sistema más utilizado y fundamental es el denominado sistema ecuatorial, cuyas coordenadas son la declinación o distancia al ecuador y la ascensión recta que es el ángulo contado desde el punto Aries en el sentido de la rotación terrestre. El punto Aries es el **equinoccio** de primavera.

COSMOLOGÍA

En los términos más generales posibles se puede definir la cosmología como la rama de la física que estudia el universo como un conjunto. Una definición tan amplia abarca multitud de campos de estudio más o menos alejados, como la cosmología teórica (estudio de modelos físico-matemáticos que describan la **historia del universo** de manera general), el estudio de la formación de estructuras a gran escala en el universo primitivo, las investigaciones acerca de los primeros instantes de existencia del cosmos o el análisis de la **radiación de fondo de microondas**, por mencionar tan solo algunos de sus contenidos.



Uno de los campos estudiados en el marco del sondeo cosmológico ALHAMBRA, efectuado en el Observatorio de Calar Alto con el telescopio de 3,5 m con el fin de estudiar el pasado del universo. Créditos: Mariano Moles (Instituto de Astrofísica de Andalucía) y equipo Alhambra.

La cosmología es hoy día una disciplina científica floreciente y sólidamente asentada sobre observaciones y teorías, pero a principios del siglo XX solía considerarse un asunto especulativo y poco adecuado para científicos de carrera. En el área de la cosmología, el término cosmos suele usarse de un modo técnico refiriéndose a un espacio-tiempo continuo en el (postulado) multiuniverso. En su acepción más general, un cosmos es un sistema armonioso, ordenado. Proviene del griego *κόσμος* que significa «orden, dispuesto de manera ordenada» y es la noción antagónica del caos. Hoy en día se usa como sinónimo del término universo.

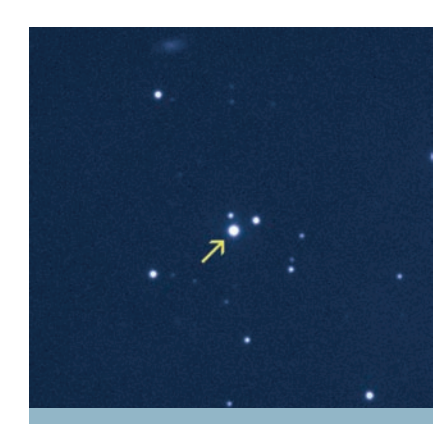
CUÁSAR

Clase de galaxias activas muy lejanas observadas por primera vez a finales de los años 1950 mediante radiotelescopios. La fuente de las ondas de radio coincidía con la de un objeto que en luz visible parecía una estrella; de ahí su nombre, apócope de *quasi-stellar radio source*, radiofuente casi estelar. Pero el estudio de su espectro de luz desveló que en realidad son objetos extragalácticos a miles de millones de años-luz de distancia, los más lejanos que se conocen.

El primer cuásar estudiado, 3C 273, se encuentra a 1500 millones de años-luz de la Tierra. Posteriormente se han observado multitud de estas galaxias y se ha reservado el término QSO (*quasi-stellar objects*, objetos cuasiestelares) para aquéllas con baja o nula emisión en radiofrecuencias.

CÚMULO ESTELAR

Los cúmulos estelares son agrupaciones de estrellas que han nacido simultáneamente de la misma nube molecular y que, por lo tanto, comparten la misma edad y composición química. Su rango de masas va desde unos pocos cientos de estrellas hasta grupos de un millón de masas solares. Su vida es una continua lucha entre la atracción gravitatoria que tiende a mantenerlo unido y la temperatura cinética (la energía cinética media de los miembros del cúmulo) que tiende a dispersarlo. Una gran fracción de los cúmulos estelares son disueltos durante su infancia (edad inferior a diez millones de años) y solo unos pocos sobreviven co-



Cuásar 3C 454.3, en la constelación de Pegasus. Se trata del cuásar más luminoso jamás observado. Durante el año 2005, este objeto experimentó un brote de emisión en el visible que lo hizo observable incluso con instrumentos de aficionado. Esta imagen fue tomada en junio de 2006, con el telescopio de 2,2m de Calar Alto (Almería). Créditos: Observatorio de Calar Alto.





Cúmulo globular M 22 en la constelación de Sagitario. M 22 es uno de los cúmulos globulares más grandes y espectaculares. Se encuentra a unos 10 000 años-luz en la dirección del bulbo galáctico. Créditos: Enrique Herrero Casas (Universidad de Barcelona).

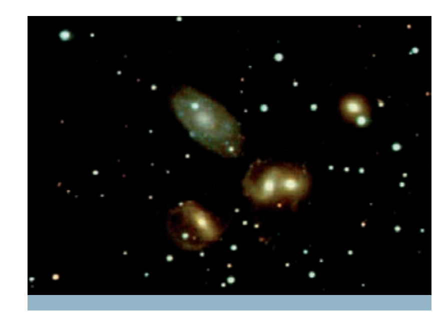
mo objetos unidos gravitatoriamente por más de mil millones de años.

En la Galaxia se clasificaron los cúmulos estelares en dos grandes grupos: cúmulos abiertos y cúmulos globulares. Los cúmulos abiertos muestran una menor densidad y su masa no sobrepasa nunca la de unos pocos miles de masas solares. Se encuentran principalmente en el disco galáctico, son ricos en metales y parecen tener una edad muy inferior a los mil millones de años, mostrando una estructura interna muy variable que va desde una geometría fractal, para los más jóvenes y menos masivos, hasta distribuciones casi esféricas. Por el contrario, los cúmulos globulares se encuentran distribuidos en el halo galáctico, siendo objetos muy pobres en metales, muy viejos y con masas superiores a los cientos de miles de masas solares. La alta densidad de objetos y la atracción gravitatoria modelan una apariencia globular que da nombre a estos objetos.

El estudio de la formación de los cúmulos estelares es, hoy en día, una de las cuestiones clave de la astrofísica.

CÚMULO DE GALAXIAS

Agrupación de galaxias de entre 50 y 100 miembros, con concentraciones de gas caliente y **materia oscura**. Estas galaxias se mantienen unidas entre sí gracias a la interacción gravitatoria, y los cúmulos presentan masas cercanas a 10 billones de veces la del Sol. Los cúmulos de galaxias miden normalmente decenas de megapársecs (decenas de millones de años-luz). La formación de estas agrupaciones se suele situar en periodos entre hace diez mil millones de años y la actualidad. Algunos ejemplos de estas aglomeraciones de galaxias son el cúmulo de Virgo, el de Hércules y el de la Cabellera de Berenice. Existen otras agrupaciones mayores, llamadas **supercúmulos de galaxias** y otras menores, llamadas grupos de galaxias. **Grupo de galaxias** es una concentración de varias decenas de galaxias, con masas totales que alcanzan el billón de veces la de nuestro Sol. Los tamaños característicos de los grupos rondan el megapársec (3 millones de años-luz). El ejemplo más cercano lo ofrece el **Grupo Local**, al que pertenece nuestra Galaxia. Los supercúmulos de galaxias son grandes estructuras formadas por la interacción gravitatoria de cúmulos y grupos de galaxias, con tamaños entre los 100 y los 500 megapársecs (300 y 1500 millones de años-luz). Los súper cúmulos de galaxias constituyen las mayores estructuras jerárquicas en el cosmos. Por encima de estas entidades, el universo adquiere una textura homogénea a gran escala.



Quinteto de Stephan (HGC 92), grupo compacto de galaxias a unos 300 millones de años-luz. Imagen tomada con el telescopio IAC80 del Observatorio del Teide (Tenerife). Créditos: IAC, Ángel R. López Sánchez.

D

DESPLAZAMIENTO AL ROJO

Las ondas electromagnéticas, como por ejemplo la luz, se caracterizan por su longitud de onda, es decir, por la distancia que media entre dos crestas ondulatorias consecutivas. Una onda cualquiera, sea o no electromagnética, puede emitirse con una longitud de onda determinada pero luego se puede ver afectada por multitud de procesos que hagan que el receptor la capte con una longitud de onda distinta.

En el caso del sonido, cuando cambia la longitud de onda se altera el tono (carácter agudo o grave) percibido. En el caso de la luz, los cambios de longitud de onda conllevan modificaciones en el color.

El desplazamiento al rojo no es más que un cambio en la longitud de onda de la radiación electromagnética. Una onda electromagnética emitida con una cierta longitud de onda (un color determinado) se capta con una longitud de onda (color) distinta. Cuando esta alteración implica un enrojecimiento del tono de la luz o, en general, un alargamiento de la longitud de onda, se habla de *desplazamiento hacia el rojo*. Aunque el desplazamiento hacia el rojo sea el más popular, hay que insistir en que también es posible que se produzca un acortamiento de las longitudes de onda de la radiación: en este caso se habla de *desplazamiento al azul*.

En el caso de la radiación electromagnética en general, y muy en particular si se trata de la luz, este cambio de longitud de onda se puede deber a tres procesos físicos diferentes: a que el emisor y el receptor se alejen entre sí (efecto Doppler), a que el emisor se encuentre sometido a un campo gravitatorio más intenso que el receptor (desplazamiento al rojo gravitatorio) o a la expansión del universo (desplazamiento al rojo cosmológico). Cuando emisor y receptor se acercan, cuando el receptor experimenta un campo gravitatorio más intenso o cuando el universo se contrae, entonces se produce el efecto contrario, el desplazamiento al azul. El desplazamiento al rojo se representa con la letra z. La variable z adopta valores positivos cuando se trata de un desplazamiento al rojo y negativos si se trata de un desplazamiento al azul.

Como se ha indicado, el desplazamiento al rojo (o al azul) puede tener tres causas físicas bien diferenciadas. Pero hay una de ellas que destaca por su importancia y por la frecuencia con la que aparece en contextos físicos, y sobre todo en problemas astronómicos: el efecto Doppler.



Se conoce como efecto Doppler el cambio en la longitud de una onda como consecuencia del movimiento del emisor respecto del receptor. Observamos este efecto numerosas veces en la vida diaria. Cuando un coche se nos acerca a gran velocidad, percibimos que el sonido del motor (una onda, al fin y al cabo) es más agudo que cuando se aleja de nosotros. Esta percepción se debe al hecho de que cuando el coche se acerca, las ondas sonoras emitidas parecen juntarse y disminuye su longitud, mientras que se produce el efecto contrario cuando el coche se aleja, situación en que las ondas parecen separarse, lo que hace que su longitud aumente.

Este efecto es muy importante en astrofísica, donde adquiere relevancia aplicado a las ondas electromagnéticas, sobre todo al caso de la luz. Cuando un objeto que emite luz, como una estrella o una galaxia, se acerca a nosotros (o nosotros al objeto), vemos sus ondas de luz comprimidas, con menor longitud de onda que la correspondiente a la emisión: el **color** se desplaza hacia el azul. Si el cuerpo emisor se aleja de nosotros (o nosotros del cuerpo emisor), entonces vemos que su luz se desplaza al rojo, sus ondas se alargan. El efecto se torna más intenso cuanto mayor sea la velocidad relativa entre el emisor y el receptor, lo cual permite usar el efecto Doppler para calcular la velocidad de los astros respecto de nosotros.

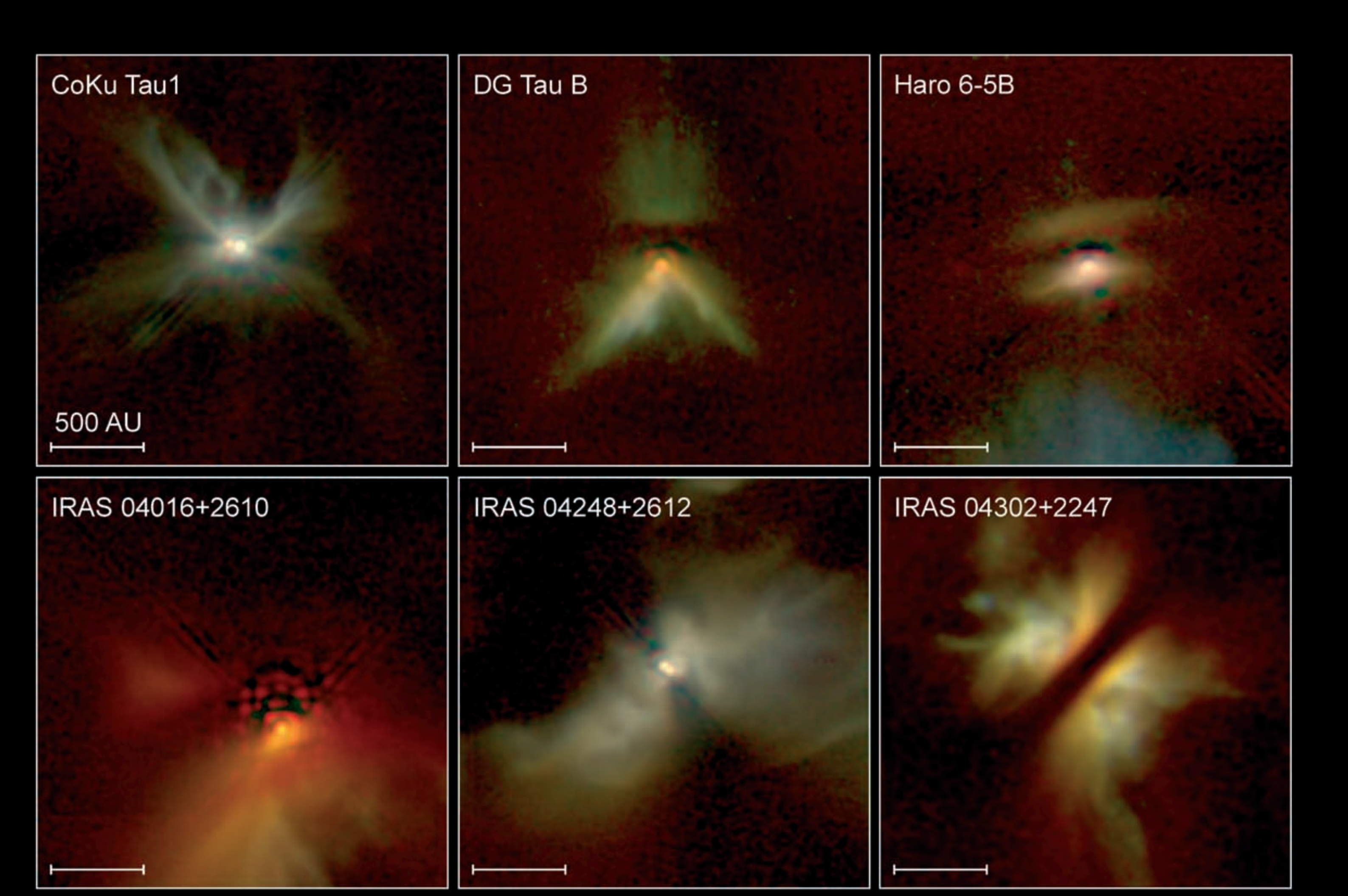
Este efecto recibe su nombre del físico austríaco Christian Doppler, y fue clave en el descubrimiento de la expansión del universo por Edwin Hubble. No obstante, hay que aclarar que los desplazamientos al rojo de los que tanto se trata en cosmología no se deben al efecto Doppler, sino a un efecto independiente, el del desplazamiento al rojo cosmológico, relacionado con la expansión del universo, y no con el desplazamiento de las galaxias propiamente dichas en el seno del espacio.

DIAGRAMA DE HERTZSPRUNG-RUSSELL

Conocido de forma abreviada como diagrama HR, el diagrama de Hertzsprung-Russell constituye una pieza central de la astrofísica y supone una herramienta fundamental para estudiar las estrellas. Debe su nombre a los trabajos de los astrónomos Ejnar Hertzsprung y Henry Norris Russell.

El diagrama HR puede presentarse de diversas formas. En su forma original representa la **magnitud absoluta** de una estrella en luz visible (equivalente a la **luminosidad**) frente a su **tipo espectral** (que es una manera de estimar su temperatura). En resumen: colocamos (con la imaginación) todas las estrellas a la misma distancia, y representamos su brillo frente a su temperatura. Por convención, el eje horizontal del diagrama recorre las temperaturas de mayor a menor, mientras que el eje vertical recorre los brillos de menos brillante a más brillante.

La mayoría de las estrellas se agrupan en torno a una línea en el diagrama que llamamos ***secuencia principal***, que corresponde a la etapa más larga de la vida de estos astros. Para un mismo tipo espectral, es decir, para una misma temperatura, algunas estrellas tienen brillos mayores que sus compañeras de la secuencia principal. Puesto que dos cuerpos de igual tamaño y temperatura brillan aproximadamente igual, esto significa que las estrellas que brillan más a una temperatura dada son más grandes, por eso se las llamó **gigantes** (o incluso **supergigantes**), aunque sí resulta un poco extraño que se llamara **enanas** a las estrellas de la secuencia principal, simplemente para distinguirlas de las gigantes. Pero así ha quedado en la terminología astrofísica. Otras estrellas se apartan también, pero con brillos más pequeños que sus compañeras de la secuencia


CoKu Tau1
500 AU
DG Tau B
Haro 6-5B
IRAS 04016+2610
IRAS 04248+2612
IRAS 04302+2247



Varios ejemplos de discos protoplanetarios, observados con el telescopio espacial Hubble y un instrumento de infrarrojo cercano denominado NICMOS. Créditos: NASA, ESA.

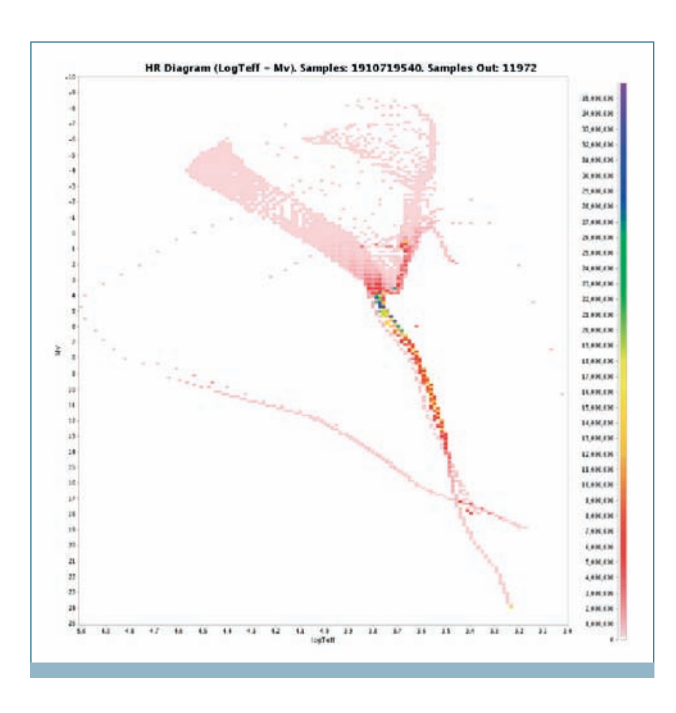


Diagrama HR sintético que representa la población estelar en nuestra Galaxia. Este diagrama forma parte de los trabajos de simulación informática emprendidos para la preparación de la misión espacial Gaia de la Agencia Espacial Europea. Créditos: Unidad de coordinación 2 del consorcio «Procesado y análisis de datos» del satélite Gaia.

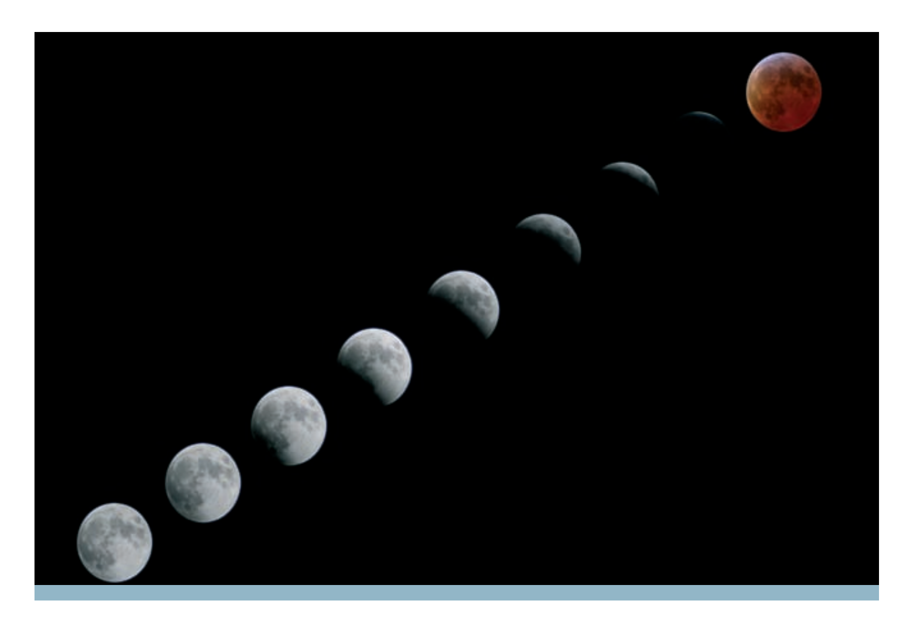
principal con igual temperatura. Por el mismo razonamiento anterior, son más pequeñas. A algunas se las conoce como **subenanas**, pero las más conocidas son, sin duda, las **enanas blancas**.

En el diagrama HR desempeña una función central el concepto de luminosidad. En astronomía, la luminosidad es una medida de la radiación o energía emitida por un objeto celeste. Se da en unidades de potencia (por ejemplo en vatios, o en ergios por segundo), aunque suelen usarse también otras unidades como la luminosidad solar, que asciende a nada menos que cuatrocientos cuatrillones de vatios (un cuatro seguido de veintiséis ceros).

DISCO CIRCUNESTELAR

Durante su formación, una estrella experimenta diferentes fases antes de alcanzar la estabilidad o, como se suele decir en la jerga astrofísica, antes de situarse en la *secuencia principal*. En primer lugar, una nube interestelar de polvo y gas se fragmenta y se colapsa, con lo que da lugar a la aparición de varias regiones de densidad más alta. Más tarde, las protoestrellas aparecen a partir de los coágulos o núcleos que continúan con el colapso de este material. Con posterioridad, la conservación del momento angular (una cantidad física relacionada con la masa y la rotación) hace que se forme un disco alrededor del objeto central. Este disco aporta material a la estrella a un ritmo lento pero sostenido, mediante procesos de **acreción**. Finalmente, el disco termina por desaparecer, pero cabe la posibilidad de que antes se haya formado en su interior un sistema protoplanetario. La fase de acreción se produce en una época durante la cual la estrella central se halla en un estado conocido como «objeto de tipo T Tauri». Esta fase suele durar unos pocos millones de años, una fracción muy reducida de la vida total del astro, pero de importancia crucial tanto para la estrella como para la posible formación de planetas a su alrededor.

E



Eclipse total de Luna del 3 de marzo de 2007. Composición de nueve fotografías de las distintas fases del eclipse. Durante la parcialidad, la Luna va entrando en la sombra de la Tierra. En la fase total se ha incrementado el tiempo de exposición de la imagen para captar su tonalidad rojiza, producida por los rayos de luz que se filtran y se refractan en la atmósfera terrestre proyectándose sobre la Luna eclipsada. Créditos: Enrique Herrero Casas (Universidad de Barcelona).

ECLIPSE

Es la ocultación de un astro por otro, visto desde un tercero. Hay eclipse solar cuando la Luna pasa entre la Tierra y el Sol, que se ve total o parcialmente cubierto. No sucede cada Luna nueva porque las órbitas lunar y terrestre están inclinadas 5° una respecto a la otra. La Luna es cuatrocientas veces menor que el Sol, pero está en promedio cuatrocientas veces más cerca de la Tierra. Cuando coinciden los tamaños aparentes solar y lunar se produce un eclipse total de Sol: el disco brillante es reemplazado por la silueta oscura de la Luna y a su alrededor se aprecia la tenue corona solar. Si, en perfecta alineación, la Luna queda algo más lejos de la Tierra, el eclipse será anular. Un eclipse anular o total solo es visible desde la estrecha banda de totalidad, proyección de la sombra lu-

nar sobre la superficie terrestre. A ambos lados se proyecta la penumbra, y en esas zonas el eclipse será parcial, igual que cuando Sol, Luna y Tierra no quedan exactamente alineados, y la sombra lunar no intersecta la superficie del planeta.

Un eclipse lunar total se produce cuando la Luna pasa entre la Tierra y el Sol, en fase de llena. Nuestra atmósfera refracta la luz solar hacia el cono de sombra terrestre y causa el color rojizo de la Luna durante sus eclipses. Éstos pueden ser también penumbrales, cuando la Luna atraviesa la penumbra terrestre, o parciales, cuando solo una parte de la Luna pasa por la sombra de la Tierra.

ENANA BLANCA

Las enanas blancas son estrellas muy pequeñas y calientes, pero de masas comparables a la del Sol. Típicamente su radio es del orden de una centésima parte del radio solar, su temperatura unos 10 000 K (por lo que se ven de color blanco) y su masa la mitad del Sol. No obstante, al ser tan pequeñas, su brillo total es también escaso, y son difíciles de observar. Las enanas blancas representan la fase última de la vida de las estrellas similares al Sol. Algún día, al agotar toda su energía nuclear, el Sol comenzará a colapsarse y brillará sólo por la energía que genere al contraerse (a diferencia de su estado actual, en que brilla por la energía nuclear liberada en su centro). Conforme se contraiga, su brillo irá decreciendo. El destino de una enana blanca, pues, es ir enfriándose y apagándose lentamente, mientras su densidad aumenta. Su densidad llega a ser enorme: un pedazo de materia del centro de una enana blanca del tamaño de un terrón de azúcar pesaría fácilmente cien toneladas en la superficie terrestre. A tales densidades se producen efectos físicos muy complejos que no podemos reproducir en nuestros laboratorios, lo que convierte a las enanas blancas en objetos de estudio muy interesantes. La única forma que tiene una enana blanca de escapar a su destino consiste en incorporar materia nueva por **acreción** (procedente, por ejemplo, de una estrella compañera). Si ello ocurre, la enana blanca puede llegar a sufrir una explosión de **supernova** que la destruirá por completo.



Nebulosa planetaria M27 o nebulosa Haltera. La pequeña estrella central es una enana blanca cuyo radio se estima en 0,055 radios solares aproximadamente. Esto la convierte en la enana blanca más grande conocida. Créditos: Red de Telescopios Robóticos del Centro de Astrobiología (CSIC, INTA).

ENANA MARRÓN

Una estrella se caracteriza por su masa, que determina de manera esencial las propiedades observacionales y el tiempo que brillará a partir de la producción de energía debido a reacciones nucleares en su interior. Sin embargo, en el espacio se pueden encontrar objetos de apariencia estelar pero que no tienen masa suficiente como para quemar el elemento más sencillo, el hidrógeno, que consta de un solo protón. Esto es debido a que la presión y temperatura internas, consecuencia del peso de todas las capas de material que se encuentran atraídas por la gravedad del objeto, no son lo suficientemente altas para iniciar la conversión de hidrógeno en helio. A estos cuerpos se los denomina **objetos subestelares**. La definición incluye tanto las enanas marrones, que en ciertos



Imagen en falso color del cúmulo estelar abierto sigma Orionis. El cúmulo es muy joven (unos tres millones de años) y rico en enanas marrones, estrellas con discos protoplanetarios y con emisión de rayos X. Este cúmulo es la región del cielo con más y mejor conocidas enanas marrones. Créditos: José A. Caballero (Centro de Astrobiología).

periodos evolutivos muy cortos pueden quemar un isótopo del hidrógeno denominado **deuterio** (un protón más un neutrón), como los **objetos de masa planetaria**, que carecen incluso de esta reacción nuclear. Los modelos teóricos predicen que el límite subestelar se encuentra en una masa equivalente a 0,072 veces la del Sol, aunque en realidad depende ligeramente del contenido de elementos más pesados que el hidrógeno y el helio, los cuáles representan una fracción mínima.

Las enanas marrones, por tanto, son objetos de masa intermedia entre las estrellas más ligeras y los planetas gaseosos más masivos (aproximadamente, entre 0,072 y 0,013 veces la masa del Sol). El espectro de las enanas marrones más frías descubiertas por ahora se parece más al de Júpiter que al de las estrellas frías. La primera enana marrón, Teide 1, fue descubierta en las Pléyades por un grupo español liderado por el astrofísico R. Rebolo en 1995.

ENERGÍA OSCURA

Cuando Einstein elaboró su modelo de universo, en 1915, Edwin Hubble aún no había realizado las observaciones que demostraban que el cosmos estaba en expansión. Einstein creía que el universo era estático, de modo que introdujo en sus ecuaciones de la **relatividad general** un término de expansión, llamado **constante cosmológica**, cuyo efecto era compensar la acción de la gravitación causada por toda la masa del universo. Cuando Hubble probó que el universo estaba expandiéndose, Einstein consideró la constante cosmológica como una de sus mayores equivocaciones. En 1998, los cosmólogos, utilizando el brillo de **supernovas** que explotaron hace cientos de millones de años en galaxias muy distantes, pudieron demostrar que la **expansión del universo** se está acelerando: el cosmos parece estar dominado por un tipo de energía de origen desconocido, la llamada energía oscura, cuyo efecto es equivalente al de una antigravedad que existe a escalas mucho mayores, un tipo de efecto análogo al de la constante cosmológica introducida por Einstein.

Observaciones recientes sugieren que cerca del 95% de la energía del universo está en el sector «oscuro». Este sector está constituido por **materia oscura** (una forma de materia no luminosa) y energía oscura, cuyo origen y composición son desconocidos. La energía oscura constituye alrededor del 73% del universo y es responsable de una misteriosa fuerza repulsiva que parece estar acelerando la expansión del cosmos.

ESPECTRO ESTELAR

Cuando la luz blanca atraviesa determinados elementos ópticos (prismas, redes o incluso gotas de agua) se desdobla y descompone (técnicamente, se «dispersa») en sus **colores** originales constituyentes. Cuando el elemento óptico dispersor es suficientemente potente, puede desdoblar los colores mucho más allá de lo que el ojo es capaz de apreciar. Lo que

sucede en realidad es que la luz, que es una onda, se compone de diferentes frecuencias. Los colores azules que vemos tienen frecuencias algo mayores que los colores rojos. Los rayos infrarrojos (que no vemos, y por eso no podemos propiamente llamarlos colores) tienen frecuencias todavía más pequeñas, y los rayos ultravioletas (que tampoco vemos) las tienen mayores que los colores azules y violetas. Así, descomponer la luz en colores es descomponerla en frecuencias. Llamamos espectro al resultado de separar las frecuencias presentes en la luz, o más precisamente, en la radiación, y medir la cantidad de energía recibida en cada una de esas frecuencias. Así, cuando hablamos del *espectro de Betelgeuse* estamos hablando de la cantidad de energía que recibimos de esta estrella en cada frecuencia de la luz. Pero podemos hablar del espectro de cualquier objeto que emita radiación.

Para el estudio de los espectros se desarrolló la espectroscopia, que es una técnica observacional orientada al análisis de la composición espectral de la luz que se recibe de los astros o de cualquier otro cuerpo emisor. La luz (o, de manera más general, la radiación electromagnética) que emiten los cuerpos celestes contiene multitud de «colores» distintos. La espectroscopia permite analizar la composición de esa luz y deducir cuánta energía se recibe de un astro para cada «color» concreto (para cada longitud de onda, o para cada frecuencia). El gráfico que representa la intensidad de la luz en función del «color» (longitud de onda, o frecuencia) recibe el nombre de espectro.

ESTACIONES ASTRONÓMICAS

Cada uno de los cuatro periodos en que se divide el año solar. Su duración es de aproximadamente tres meses, y el comienzo de cada una se define con el paso del Sol por los equinoccios y los solsticios. En el hemisferio norte, la primavera comienza aproximadamente el 21 de marzo (equinoccio de Aries), momento en el cual los días empiezan a ser cada vez más largos. El verano boreal comienza hacia el 21 de junio (solsticio de Cáncer), alcanzándose en ese instante la duración máxima del tiempo de insolación. El otoño empieza en el norte alrededor del 23 de septiembre (equinoccio de Libra) y en este instante la duración del día y la noche es la misma y las noches se van alargando cada vez más hasta aproximadamente el 22 de diciembre (solsticio de Capricornio), día en el que la duración de la noche en el hemisferio boreal es máxima y que marca el principio del invierno en esa parte de la Tierra. En el hemisferio sur las estaciones van al contrario que en el norte.

Las estaciones del año no tienen ninguna relación con cambios en la distancia entre la Tierra y el Sol, sino que se deben a la oblicuidad del eje de rotación de la Tierra. Si el eje de rotación terrestre fuera perpendicular al plano de la órbita alrededor del Sol, entonces no habría estaciones. Pero al existir una cierta inclinación (de unos 24 grados), la radiación solar incide con ángulos diferentes y durante intervalos temporales distintos en cada época del año, y de ahí los cambios meteorológicos vinculados a las estaciones.

ESTALLIDOS DE RAYOS GAMMA

También denominados GRB (del inglés, *gamma ray bursts*), son las explosiones más energéticas observadas en el universo. Estas explosiones en rayos gamma suelen ir seguidas de una emisión en el resto del rango electromagnético, que es conocida como postluminiscencia. Según su duración, se clasifican en GRB largos (que duran desde 2 segundos a varios minutos) y cortos (entre unos pocos milisegundos y 2 segundos). Se cree que el mecanismo físico que los produ-

ce es diferente en cada caso. Así, parece que los primeros están asociados a un tipo especial de supernovas, las hipernovas, que son producidas por la muerte de estrellas extraordinariamente masivas. Sin embargo, el origen de los GRB de corta duración no está tan claro, siendo una hipótesis bastante barajada la colisión de dos objetos supermasivos (estrellas de neutrones o agujeros negros).

La formación de las hipernovas está asociada al colapso de una estrella extraordinariamente masiva (entre 100 y 150 masas solares) y constituye un tipo especialmente brillante de supernova. Cuando el núcleo de una hipernova se colapsa en un agujero negro, se forman dos chorros de plasma a velocidades relativistas, que emiten una intensa radiación gamma. Debido a esto, las hipernovas son consideradas la explicación más plausible a los estallidos de rayos gamma de larga duración.

ESTRELLA

Una estrella es una esfera de gas en un estado de equilibrio entre la gravedad, que tiende a comprimirla, y la presión del gas, que tiende a que se expanda. Las estrellas generan energía en su interior mediante reacciones termonucleares. La

Una de las estrellas más masivas de la Galaxia. Pismis 24-1, el astro más brillante de la fotografía, se encuentra a unos 8000 años-luz de la Tierra y tiene una masa igual a unas cien veces la del Sol. Créditos: NASA, ESA, Jesús Maíz Apellániz (Instituto de Astrofísica de Andalucía).

energía generada se emite al espacio en forma de radiación electromagnética (luz), neutrinos (partículas «exóticas») y viento estelar (gas). Las estrellas se observan en el cielo nocturno como puntos luminosos, titilantes debido a las distorsiones ópticas que produce la turbulencia y las diferencias de densidad de la atmósfera terrestre. El Sol es una estrella que al estar tan cerca no se observa como un punto, sino como un disco luminoso cuya presencia o ausencia en el cielo terrestre provoca el día o la noche respectivamente.

Las estrellas más frías pueden tener temperaturas en su superficie de aproximadamente 2000 °C mientras que las más calientes pueden llegar a unos 50 000 °C. Hay algunas estrellas en estados de su vida muy avanzados que pueden ser aún más calientes. El Sol tiene una temperatura en su superficie (el disco que observamos) de 6000 °C y en su núcleo se alcanzan los 15 millones de grados.

Los núcleos atómicos de todos los elementos químicos que conocemos se han creado en el interior de las estrellas a partir de la «fusión» de núcleos más simples, comenzando con la «fusión» del hidrógeno. La **nucleosíntesis** es el origen de la energía de las estrellas, ya que la formación de los elementos más ligeros que el hierro libera energía. La masa de los productos de la fusión es menor que la masa de los núcleos fusionados y la diferencia se transforma en energía ($E=mc^2$) y constituye la fuente de la radiación que recibimos de las estrellas. Esta radiación es originada en el núcleo de la estrella y se transporta hacia las capas exteriores sufriendo en su viaje numerosas absorciones y reemisiones por parte del material estelar. La capa de la estrella donde se produce la última reemisión de luz visible es la **fotosfera**.

ESTRELLA BINARIA

Sistema formado por dos estrellas vinculadas gravitatoriamente, de forma que se encuentran girando una alrededor de la otra (en realidad giran alrededor del centro de masas del sistema). La primera estrella binaria fue descubierta por W. Herschel, quien detectó el movimiento relativo entre las dos componentes de Cástor, en la constelación de Géminis. Aunque en su momento se consideró un fenómeno extraño, hoy en día se sabe que entre un tercio y la mitad de las estrellas que observamos son sistemas binarios. Las dos estrellas de un sistema binario, dependiendo de la distancia entre ellas, pueden ser binarias *separadas*, que evolucionan independientemente; *semiseparadas*; o binarias *cerradas* que están en contacto, tienen una envoltura común y pueden llegar a fusionarse. En las binarias semiseparadas, el material de la estrella más extensa cae sobre la otra y forma un disco de **acreción** que rodea la estrella receptora (es el caso de las binarias de rayos X y binarias cataclísmicas).

Por su medio de detección, las estrellas binarias pueden ser binarias *visuales* cuando ambas componentes se ven al telescopio; **binarias *eclipsantes***, cuando una de ellas pasa por delante de la otra y la eclipsa; **binarias *espectroscópicas***, las que al estudiar su espectro se ve que está compuesto por las líneas espectrales de dos estrellas; y **binarias *astrométricas*** que son las que se detectan por la perturbación en su movimiento que produce una estrella sobre la otra por atracción gravitatoria.

No hay que confundir estas estrellas con las dobles ópticas que son también estrellas muy cercanas entre sí aparentemente, pero que no se encuentran ligadas gravitatoriamente, de hecho pueden estar a grandes distancias una de otra aunque coincidan en la bóveda celeste, producto de la perspectiva visual. Esta misma definición se aplica a estrellas triples o múltiples.



Algunas estrellas masivas en el seno de la nebulosa de eta Carinae. El astro más brillante del campo es la estrella WR 25, cerca del centro de la imagen. Se trata de una estrella binaria cuyas componentes tienen cincuenta y veinticinco veces la masa del Sol, respectivamente. El periodo orbital del sistema es de 208 días. Créditos: NASA, ESA, Jesús Maíz Apellániz (Instituto de Astrofísica de Andalucía).

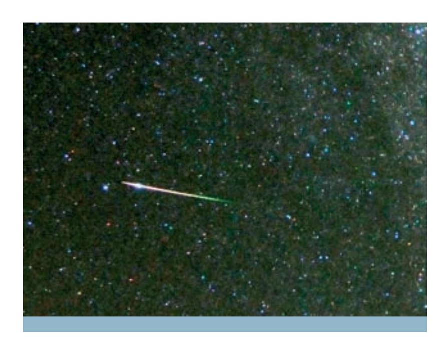
ESTRELLA ENANA

A pesar de que su nombre lleva a pensar en estrellas más pequeñas de lo habitual, en realidad, las estrellas enanas constituyen el grupo de estrellas más numeroso y representan la «normalidad» en astrofísica estelar. Se denomina «enanas» a las estrellas que se encuentran en la fase principal de su vida, desde que nacen hasta que se agota el hidrógeno en su núcleo, en contraposición con las llamadas estrellas gigantes, que tienen mayor tamaño. Esta fase, conocida como **secuencia principal**, constituye prácticamente el noventa por ciento de la vida de la estrella. Así pues, la gran mayoría de las estrellas son «enanas».

El grupo de las estrellas enanas recibe el nombre técnico de estrellas de «clase de luminosidad V». El Sol es una estrella enana de tipo G2V, donde G2 designa su tipo espectral y el número romano V su clase de luminosidad, o de brillo. No obstante, el término es confuso, porque existen algunas excepciones como son las enanas blancas, que ya no están en la secuencia principal, y las supergigantes azules, algunas de las cuales no se consideran enanas aunque todavía estén quemando hidrógeno en su núcleo. Las estrellas no permanecen en su estado de enanas toda la vida, sino que pasan a ser gigantes o supergigantes, aunque, en el curso de su evolución, al final pueden volver a un estado de enana pero diferente, las enanas blancas. El Sol, actualmente una estrella enana, será una gigante roja en cinco mil millones de años, y en otros quinientos millones de años volverá a ser una enana, en esta ocasión, una enana blanca.

ESTRELLA FUGAZ

Fenómeno que se produce cuando minúsculas partículas de polvo, procedentes de algún cometa, entran en la atmósfera terrestre a gran velocidad y se desintegran por fricción, produciendo el rastro luminoso que llamamos **meteoro** o **estrella fugaz**. Las partículas responsables de las estrellas fugaces suelen desplazarse por el espacio interplanetario en corrientes. Cuando la órbita terrestre se encuentra con una de estas corrientes se produce un incremento notable en el número de estrellas fugaces y el fenómeno recibe el nombre de **lluvia de estrellas**. Si prolongamos las trazas de los meteoros pertenecientes a una misma lluvia, todos parecen provenir de una zona, el punto radiante. En realidad, todas las partículas entran paralelas en la atmósfera, pero al estar tan alejadas de nosotros, la perspectiva nos hace verlas como provenientes de ese único punto. La constelación donde reside el radiante da nombre a la lluvia (Perseidas, Gemínidas, Oriónidas…). La lluvia de estrellas más conocida es la de las **Perseidas** o **Lágrimas de San Lorenzo**. En el caso de las Perseidas, estas partículas han sido producidas por el cometa Swift-Tuttle que, como todos los cometas, pierde masa cuando se acerca al Sol. Todos los años sobre el 11-13 de agosto, la órbita de la Tierra cruza una nube de partículas producidas por este cometa, lo que produce la lluvia de las Perseidas. Si prolongamos las trazas de las Perseidas observadas en una noche, todas parecen provenir de una zona situada en la constelación de Perseo, de ahí su nombre. El otro nombre, lágrimas de San Lo-



Rastro fotográfico de una Perseida. Créditos: Alejandro Sánchez (Universidad Complutense de Madrid).

renzo, viene de que esta lluvia de estrellas se produce alrededor del 10 de agosto, festividad de San Lorenzo.

No todos los meteoros pertenecen a lluvias o corrientes sistemáticas. Existen también los meteoros llamados *esporádicos*, no asociados a ninguna corriente en particular, y que pueden ser de origen cometario o asteroidal.

ESTRELLA GIGANTE

Distinguimos dos tipos de estrellas gigantes, las rojas y las azules.

Las gigantes rojas son estrellas muy grandes y frías. Su tamaño, que puede llegar a unos pocos cientos de veces el radio del Sol, las hace merecedoras del término «gigantes» y su relativamente baja temperatura, de unos escasos 3000-4000 kelvin, las hace aparecer como rojas a nuestros ojos. Las gigantes rojas son el resultado de la evolución de estrellas de masa baja e intermedia, como nuestro Sol. Como estas estrellas son las más numerosas y sus vidas son largas, las gigantes rojas son muy abundantes. Su elevado número, junto con su gran brillo (porque la superficie que emite es muy grande) hace que sean responsables de una parte muy importante de la luz que vemos en nuestra Galaxia. Cuando agote su hidrógeno en el centro, el Sol se transformará en una gigante roja. Permanecerá en esa fase de gigante roja hasta que los procesos nucleares sean capaces de comenzar a transformar el helio en carbono en el centro de la estrella, momento en que reducirá considerablemente su tamaño. Pero volverá a ser una gigante roja más adelante, cuando agote el helio y se prepare para expulsar las capas que formarán más adelante una nebulosa planetaria.

De manera similar a las gigantes rojas, las gigantes azules son estrellas más grandes de lo habitual (pero mucho más pequeñas que sus compañeras rojas), lo que indica que ya están en una fase avanzada de su evolución, y más calientes, lo que justifica su color preferentemente azulado. Como las estrellas, cuando evolucionan, tienden a enfriarse (al menos en las primeras fases); para que una estrella evolucionada mantenga un color azul su temperatura inicial debe haber sido muy alta. Las gigantes azules son, por tanto, descendientes no muy lejanos de estrellas de alta masa. Al ser estrellas de alta masa, de las que hay pocas y evolucionan muy rápido, la fase de gigante azul es breve y poco común.

ESTRELLA DE NEUTRONES

Última etapa de la vida de una estrella supergigante cuando, al agotarse su combustible nuclear, ésta sufre una explosión de supernova. Después de la explosión, el núcleo de la estrella se colapsa hasta una densidad tan grande en la que los protones y electrones se combinan formando neutrones y el colapso continúa hasta que los neutrones son capaces de frenarlo debido al principio de exclusión de Pauli. Cuanto mayor es la masa de una estrella de neutrones menor es su diámetro, pero si sobrepasa las dos masas solares, seguiría colapsándose hasta convertirse en un agujero negro. En consecuencia, las estrellas de neutrones son objetos muy compactos y muy masivos, del orden de un par de masas solares comprimidas en una esfera de unos 10 km de radio. Además, a causa del principio de conservación del momento angular, la contracción de la estrella hace que ésta gire más rápido y también hace que su campo magnético se vuelva más intenso. Las estrellas de neutrones emiten potentes ondas de radio que son comprimidas por el campo magnético dentro de un haz que gira con la estrella con periodos del orden del milisegundo hasta algunos segundos, en este caso son conocidas como púlsares. Las estrellas de neutrones se pueden encontrar en restos de supernovas, como objetos aislados o en sistemas binarios.

ESTRELLA POLAR

La estrella Polar (alfa de la Osa Menor) es el astro más brillante de la constelación de la Osa Menor. A pesar de eso, no se trata de una estrella especialmente destacada, se clasifica como «de segunda magnitud» y desde los cielos contaminados de las ciudades cuesta incluso encontrarla. Por tanto, es falso el mito tan extendido que afirma que la estrella Polar es la más brillante de todo el cielo; nada más lejos de la realidad. Lo que hace especial a esta estrella es el hecho fortuito de que el eje de rotación de la Tierra apunta casi exactamente hacia ella por su lado norte. Por lo tanto, a medida que la Tierra gira, esta estrella se mantiene siempre quieta en un mismo punto del cielo y no comparte el movimiento diurno de salida y puesta que afecta al Sol, la Luna y el resto de estrellas del firmamento. Eso hace que la estrella Polar sea muy útil como recurso de orientación en la noche y conocerla resulta fundamental para excursionistas, exploradores y navegantes. El eje de la Tierra no mantiene siempre la misma orientación en el espacio, sino que se va desplazando lentamente en un ciclo que dura unos 26 000 años describiendo un cono con 23,45º de abertura. Este movimiento se llama precesión. Por lo tanto la estrella Polar no ocupará siempre en el futuro, ni ha



Trazos circumpolares sobre dolmen prehistórico en Pinyana (Lérida). La suma de imágenes durante las 5 horas de exposición muestra los trazos de las estrellas alrededor del polo norte celeste. La estrella Polar corresponde al trazo más brillante y corto cerca del centro. Créditos: Enrique Herrero Casas (Universidad de Barcelona).

La región de la estrella Alnitak, en la constelación de Orión, rodeada de nebulosidades entre las que destaca la conocida nebulosa oscura Cabeza de Caballo (en el centro). Alnitak se encuentra a unos 1500 años-luz de distancia y es en realidad un sistema estelar triple, cuya estrella principal es una supergigante azul de tipo espectral O9.5Ib y magnitud aparente +1,89. Créditos: Leonor Ana y Fernando Fonseca (Fundación astroHita).

ocupado siempre en el pasado, el lugar privilegiado que hoy tiene. En el Egipto faraónico hacía el papel de estrella Polar la estrella Thuban, alfa del Dragón.

La estrella Polar dista unos 430 años-luz del Sol y brilla unas 2500 veces más que el Sol. Esta combinación de distancia y luminosidad hace que presente una magnitud visual aparente de 1,97 en los cielos de la Tierra.

ESTRELLA SUPERGIGANTE

Las supergigantes son estrellas muy luminosas y enormemente grandes. En su máxima extensión, las supergigantes pueden llegar a alcanzar más de mil veces el radio solar, lo que equivale a extenderse más allá de la órbita de Júpiter. Hay principalmente dos clases de estrellas supergigantes: azules y rojas, como en el caso de las gigantes. En tamaño, las *supergigantes rojas* superan con mucho a las **supergigantes azules**, pero éstas, al ser mucho más calientes, llegan a ser igual de brillantes con tamaños menores (de hecho, una supergigante azul puede tener un radio menor que una gigante roja).

Las supergigantes son resultado de la evolución de las estrellas de alta masa. Cuando una estrella masiva evolucione y se le acabe el hidrógeno en el núcleo, la estrella se enfriará y se expandirá, igual que el Sol, pero ahora a tamaños increíblemente grandes: será una **supergigante roja**. Un ejemplo bien conocido es Betelgeuse, en la constelación de Orión. Algunas supergigantes son estrellas muy **variables**, con variaciones bruscas y no periódicas. La fase de supergigante es muy rara, pues son fases rápidas de estrellas poco frecuentes. Pero su estudio es muy importante, porque estas estrellas son los antecesores directos de las **supernovas** de tipo II, fase a la que llegará la estrella cuando agote todo el combustible nuclear de que dispone.

ESTRELLA VARIABLE

La variación del brillo de las estrellas puede ser debida a una causa intrínseca o extrínseca, es decir, que la estrella tenga una variabilidad real o que su luz se vea interrumpida por un factor externo que puede ser otra estrella o una nube de gas interestelar. Según la causa de su variabilidad, las estrellas **variables intrínsecas** se dividen en: **variables pulsantes**, con variaciones del radio de la estrella; **variables eruptivas**, con cambios en su superficie, como llamaradas o eyecciones de materia, y **variables cataclísmicas** que experimentan un cambio enorme de sus propiedades físicas, como las **novas** y las **supernovas**. Las novas deben su variación a la acumulación de materia recibida de su estrella compañera.

Las estrellas pulsantes características son las **cefeidas**, en las que Henrietta S. Leavitt, en 1912, descubrió que su periodo de variabilidad era proporcional a su luminosidad, con lo cual la determinación del periodo nos da una indicación muy fiable de su distancia.

Las **variables extrínsecas** más frecuentes son las estrellas **eclipsantes**, que son estrellas binarias en las que la dirección de observación coincide con el plano de su órbita y vemos entonces una estrella pasar por delante de la otra, eclipsándola periódicamente. Las más abundantes son las de tipo Algol o tipo beta Lyrae.

EVOLUCIÓN ESTELAR

Es el proceso por el cual las estrellas cambian su apariencia exterior y su estructura interna con el paso del tiempo. Podemos pensar en la evolución estelar de igual forma que en la vida de los seres vivos, que a medida que envejecen sufren cambios en su organismo y su aspecto. El motor de los cambios de una estrella es la **nucleosíntesis**, la transformación de unos elementos químicos en otros mediante reacciones nucleares. Así, tras nacer, las estrellas pasan la mayor parte de la vida en una fase tranquila,





La región de formación estelar 30 Doradus. El cúmulo estelar R136 (a la izquierda del centro) acaba de nacer a partir de las nebulosidades que lo envuelven. La evolución estelar se inicia con el nacimiento de grupos de estrellas que a su vez desencadenan en las nubes cercanas el colapso que conduce a la formación de nuevas generaciones de estrellas. Créditos: NASA, N. Walborn, Jesús Maíz Apellániz (Instituto de Astrofísica de Andalucía) y R. Barbá (Instituto de ciencias astronómicas de la Tierra y del Espacio de Argentina).

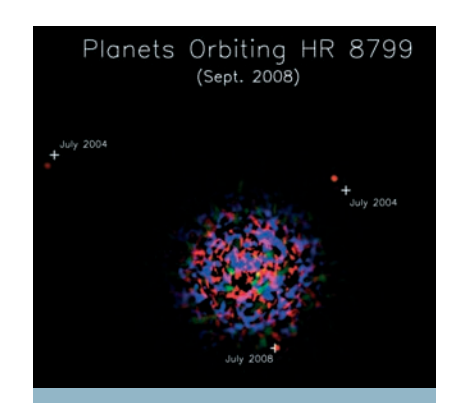
mientras consumen hidrógeno en el interior y lo transforman en helio. Esta es la fase de mayor duración, la **secuencia principal**, que abarca el noventa por ciento de la vida de la estrella; durante ella, la estrella sufre pocos cambios. Pero apenas se agota el hidrógeno, la estrella acelera su evolución y sufre cambios notables, mientras va creando nuevos elementos químicos en el interior, cada vez más rápidamente. Los cambios de apariencia nos llevarán a clasificar las estrellas en diferentes clases, como por ejemplo: **enanas**, **gigantes**, **supergigantes** y otras. Las fases concretas por las que pasa una estrella, su historia detallada, dependen fundamentalmente de su masa. Cuanto mayor es la masa de la es-

trella, más rápida es su evolución y más corta su vida. Su destino final es también diferente, dependiendo de la masa: las estrellas de mayor masa se convertirán en **supernovas** y dejarán tras de sí un **agujero negro** o una **estrella de neutrones**, mientras que las de menor masa se convertirán en **enanas blancas**, estrellas pequeñas y calientes, que irán enfriándose eternamente.

EXOPLANETA O PLANETA EXTRASOLAR

La Unión Astronómica Internacional (UAI) definió de manera provisional el concepto de exoplaneta en el año 2003. Según la misma, los planetas fuera del Sistema Solar deben orbitar alrededor de una estrella o remanente de estrella (enana blanca o estrella de neutrones) y tener una masa inferior a 14 masas de Júpiter. Debido a su reducida masa, no alcanzan temperaturas y densidades en sus interiores lo suficientemente altas como para fusionar **deuterio**, un isótopo del hidrógeno compuesto por un protón y un neutrón, o cualquier otro elemento químico. Por tanto, no producen energía a partir de este tipo de fuente.

Según la misma resolución de la UAI, los **objetos subestelares**, con masas superiores a los anteriores, pero que no fusionan hidrógeno, se deben denominar



El sistema exoplanetario de la estrella HR8799, compuesto por al menos tres exoplanetas. La imagen fue obtenida con el telescopio Keck y técnicas especiales que permiten realzar el contraste y eliminar casi todo el brillo de la estrella central. Sus planetas tienen masas entre 7 y 10 veces la de Júpiter y orbitan a gran distancia de la estrella (15, 40 y 70 unidades astronómicas). Créditos: Christian Marois, Bruce Macintosh, Keck Observatory.

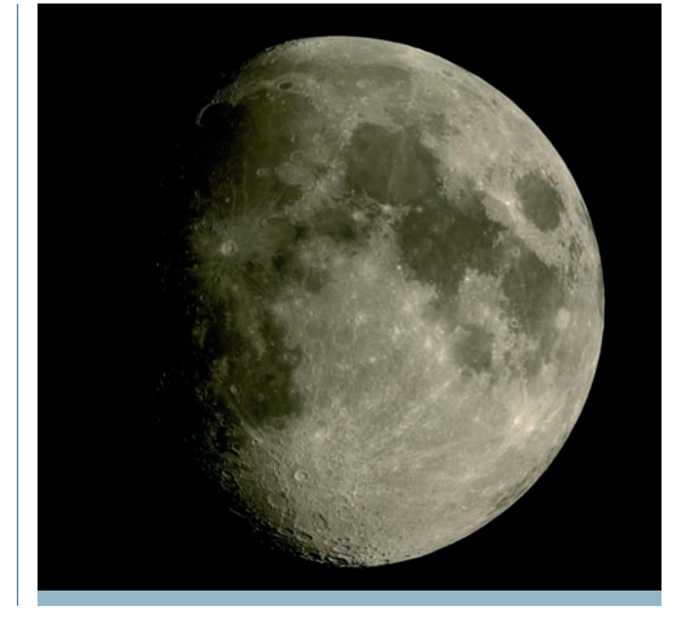
enanas marrones. Por otra parte, los **objetos** aislados **de masa planetaria**, con masa por debajo del límite de las 14 masas de Júpiter, se deben denominar subenanas marrones o cualquier otro nombre que sea apropiado, salvo planeta.

Por supuesto, estas definiciones podrían modificarse según nuestro conocimiento avance. Algunos investigadores consideran que la expresión sub-enana marrón no es muy acertada, y que serían más adecuados otros términos como IPMOs, planemos, oriones, o xebarcos.

EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

Se ha observado que las distancias entre las grandes estructuras del universo (los cúmulos y supercúmulos de galaxias) se incrementan de manera progresiva. Este hecho observacional se denomina expansión del universo y fue descubierto por Edwin Powell Hubble y Milton Lasell Humason en 1929. Si se toman dos cúmulos de galaxias cualesquiera, la distancia entre ellos crece sin cesar, y lo hace no porque las galaxias o los cúmulos se desplacen, sino porque crece el espacio que media entre ellos. Es más, cuanto más distantes entre sí se encuentren los cúmulos considerados, más veloz es el incremento de la distancia. La intensidad de la expansión del universo en cualquier instante de su historia se valora por medio del parámetro de Hubble, H. El valor actual del parámetro de Hubble recibe el nombre de **constante de Hubble** y se simboliza como H_0. La expansión del universo no afecta a sistemas ligados gravitatoriamente, es decir, el proceso no altera las distancias entre los átomos de nuestros cuerpos, entre la Tierra y el Sol o incluso entre las estrellas de la Galaxia o entre galaxias pertenecientes a un mismo cúmulo. Las observaciones indican que la expansión del universo se está acelerando cada vez más, por motivos que aún no están claros.





La Luna en una fase ligeramente posterior al cuarto creciente. Se trata de un mosaico de imágenes tomadas con un telescopio Celestron 5. Créditos: Fernando Comerón (Observatorio Europeo Austral).

FASES DE LA LUNA

La Luna recorre su órbita en torno a la Tierra. A medida que gira a nuestro alrededor, el globo lunar recibe la luz del Sol desde diferentes direcciones y esto hace que vaya cambiando de aspecto. Se llama *fase lunar* a cada uno de los distintos aspectos que presenta el disco lunar visto desde la Tierra bajo la cambiante iluminación solar.

Cuando la Luna se encuentra entre la Tierra y el Sol, entonces desde nuestro planeta vemos el hemisferio oscuro del satélite, porque la luz solar incide sobre el otro lado. Esta fase recibe el nombre de ***Luna nueva o novilunio***. Cuando la Luna ha recorrido un cuarto de su órbita y la visual hacia ella forma un ángulo recto con la dirección al Sol, entonces presenta la mitad del disco iluminado y se dice que está en fase de ***cuarto creciente***. Cuando el satélite ha cubierto media vuelta se halla en dirección opuesta al Sol. Entonces todo el disco se ve iluminado y se dice que está en fase de ***Luna llena o plenilunio***. Un cuar-

to de vuelta más allá, la Luna recibe la luz del Sol de nuevo desde un costado, vuelve a mostrar la mitad del disco iluminado y su fase es entonces de ***cuarto menguante***. Algo después regresa a la fase de Luna nueva.

De manera general, las fases entre un novilunio y el plenilunio siguiente se llaman de Luna creciente, y las que median entre un plenilunio y el novilunio posterior son las de Luna menguante.

El intervalo entre dos fases idénticas de la Luna recibe el nombre de *lunación*. También se denomina *mes sinódico* y su duración es de 29,531 días, o dicho de otro modo, 29 días, 12 horas y 44 minutos. Desde la antigüedad ha representado uno de los elementos básicos para medir el paso del tiempo. Nuestros meses actuales tuvieron su origen en las lunaciones, pero las fases lunares no coinciden con ellos ni en duración ni en fechas de inicio.



NGC 3603, un sistema nebular gigante que alberga uno de los cúmulos estelares masivos más llamativos de la Galaxia, un arquetipo para el estudio de los procesos de formación estelar. NGC 3603 dista unos 20 000 años-luz de la Tierra. Créditos: NASA, ESA, Jesús Maíz Apellániz (Instituto de Astrofísica de Andalucía) y Davide de Martin.

FORMACIÓN ESTELAR

La formación estelar es el proceso por el cual una nube interestelar de gas molecular y polvo se transforma en una estrella. La nube original comienza a colapsarse debido a alguna perturbación exterior. En el colapso, la nube gana energía y aumenta de densidad. Aunque al principio la energía ganada se emite al espacio en forma de radiación, llega un momento en que la densidad de la nube es ya tan grande que impide que la radiación escape. La nube se calienta. Al continuar contrayéndose, siguen aumentando la densidad y la temperatura. Las moléculas y el polvo se rompen en átomos y éstos en sus partículas constituyentes. Aunque los detalles son muy complejos, el final de la historia es sencillo: la temperatura aumenta tanto que pueden iniciarse las reacciones nucleares en el centro de lo que fue una nube molecular, y que se ha transformado en una estrella.

G



En primer plano, la galaxia espiral NGC 7331, en la constelación de Pegaso a una distancia de 50 millones de años-luz. Se trata de una espiral semejante a nuestra propia Galaxia. En el fondo se distingue una agrupación visual de varias galaxias unas diez veces más lejanas, de diversos tipos y colores. Créditos: Observatorio de Calar Alto, Vicent Peris (Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia) y Gilles Bergond (Observatorio de Calar Alto).

GALAXIA

Una galaxia es una gran aglomeración de estrellas, gas y polvo que se mantiene unida por el efecto de su propia gravitación. Las galaxias más pequeñas contienen unos millones de estrellas, mientras que las mayores poseen billones (millones de millones). Hay galaxias de diversos tipos: elípticas, espirales e irregulares. El Sistema Solar pertenece a una galaxia espiral. Esta categoría se caracteriza por poseer un disco aplanado de estrellas, gas y polvo, con brazos espirales en su seno. Las galaxias elípticas tienen estructura esferoidal o elipsoidal y suelen contener solo estrellas, con poco gas y poco polvo.

GALAXIA, LA

La Galaxia, con mayúscula, es el nombre propio del gran sistema estelar o universo isla en el que habitamos. Nuestra Galaxia consiste en un gran conjunto de estrellas y materia interestelar con forma espiral. Consta de un núcleo central, un bulbo esferoidal que rodea el núcleo y un disco mucho mayor (unos 100 000 años-luz de diámetro) en el que las estrellas más brillantes trazan brazos espirales. El conjunto está rodeado por un halo de estrellas antiguas y cúmulos globulares. Se trata, por tanto, de un sistema espiral semejante a otras galaxias. Estudios recientes apuntan a la posibilidad



Nuestra Galaxia vista desde el lugar que ocupa la Tierra en su interior nos ofrece el panorama de la Vía Láctea. Mosaico de siete fotografías de la Vía Láctea tomadas desde Orea (Guadalajara). Se aprecia a la derecha la región de Sagitario, donde la banda lechosa de la Vía Láctea adquiere más brillo por coincidir con la dirección hacia el centro de nuestra Galaxia. Créditos: Enrique Herrero Casas (Universidad de Barcelona).

de que la Galaxia sea del tipo de las espirales barradas. El Sol se halla en el disco de la Galaxia a unos 30 000 años-luz del centro. Cuando contemplamos la Galaxia desde su interior, se nos muestra como una banda luminosa lechosa que cruza todo el firmamento: la **Vía Láctea**. Por eso a veces la Galaxia recibe el nombre de *galaxia de la Vía Láctea*.

Las galaxias suelen agregarse en agrupaciones de diversos tamaños. Las menores agrupaciones de galaxias contienen varias decenas de ellas, con masas totales que alcanzan el billón de veces la de nuestro Sol: se trata de los *grupos de galaxias*. Los tamaños característicos de los grupos rondan el megapársec (3 millones de años-luz). El ejemplo más cercano lo ofrece el **Grupo Local**, al que pertenece nuestra Galaxia, y que consta de una treintena de miembros.

GALAXIA ACTIVA

Nuestra Galaxia es una espiral tranquila, quizá del tipo barrado. Pero en el universo hay otras muchas galaxias de tipos muy diferentes, y entre ellas se encuentra el grupo de las galaxias activas. Las galaxias activas contienen un núcleo que emite energía en cantidades enormes y de manera muy violenta. Como es natural, esos núcleos reciben el nombre de **núcleos activos de galaxias** o, también, núcleos de galaxias activas (o AGN, siglas de la denominación en inglés, *active galactic nucleus*). Las teorías más aceptadas atribuyen la emisión de energía a un agujero negro supermasivo situado en el centro de estas galaxias, sobre el cual se precipita materia a un ritmo considerable. La caída del material induce su calentamiento (más de un millón de grados) y compresión, y desencadena la emisión de energía en todas las longitudes de onda del espectro. Con frecuencia los núcleos activos de galaxias emiten también chorros de materia en direcciones opuestas, unos flujos de partículas que recorren distancias cosmológicas en el espacio intergaláctico y dan lugar a fenómenos de emisión radioeléctrica. Los núcleos activos de galaxias pueden manifestarse de varias maneras distintas desde el punto de vista observacional, dependiendo de sus características intrínsecas y del ángulo bajo el cual se observan desde la Tierra. Tenemos así los cuásares (con o sin emisión de ondas de radio), los blázares, las radiogalaxias, las galaxias de Seyfert, etc.



La galaxia M74, en la constelación de Piscis, a unos 30 millones de años-luz de distancia, es una galaxia espiral moderadamente activa, clasificada como de tipo Seyfert 2. Créditos: Observatorio de Calar Alto, Proyecto ALHAMBRA (Instituto de Astrofísica de Andalucía), Vicent Peris (Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia).

GRAN EXPLOSIÓN (*BIG BANG*)

Los modelos cosmológicos actuales coinciden en que el universo está en expansión, y en que, al seguir la historia del cosmos hacia el pasado, toda la materia y la energía que contiene se va concentrando más y más. Se deduce que el universo primitivo se hallaba en un estado de densidades y temperaturas enormes. Si se retrocede hasta la época más temprana que la ciencia actual es capaz de estudiar, nos encontramos con el cosmos en el estado primigenio que corresponde a la Gran Explosión o *Big Bang*. Vemos, por tanto, que sería más adecuado entender la Gran Explosión como una etapa primitiva o una época de la evolución del cosmos, y no tanto como un suceso puntual concreto localizado en el espacio y en el tiempo.

Muchos modelos recientes admiten que la etapa inicial de la Gran Explosión

fue seguida por una fase de expansión exponencial, la *inflación*, predicha por Alexéi Starobinski (científico soviético) y Alan Guth (científico estadounidense). Como consecuencia directa de la inflación, todo el universo observable tiene su origen en una región del universo primordial pequeña y, por tanto, conectada causalmente. La teoría de la inflación resuelve uno de los enigmas clásicos de la cosmología: ¿por qué el universo parece ser plano, homogéneo e isótropo cuando, basándose en la física de la Gran Explosión, se esperaría un universo heterogéneo con una gran curvatura? La teoría de la inflación también explica el origen de la estructura del cosmos a gran escala.

Algunos modelos cosmológicos consideraban la posibilidad de que la fase de expansión del universo (que correspondería al estado actual) fuera seguida en un futuro lejano por una fase de contracción, en la que la densidad del universo se incrementaría paulatinamente en vez de descender como lo hace ahora. La evolución cósmica llevaría a un final en forma de implosión catastrófica, la Gran Implosión (*Big Crunch*). Estos modelos están descartados en la actualidad. Hoy todo apunta a un modelo de universo en expansión permanente en el futuro.

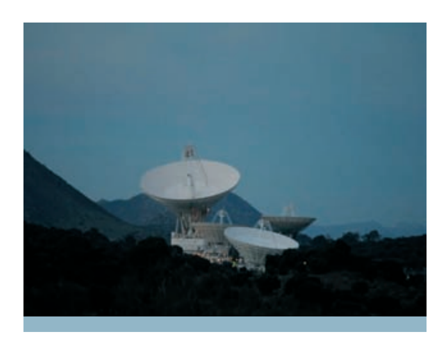
I

INTERFEROMETRÍA

La interferometría es una técnica (no solamente astronómica) consistente en la utilización simultánea de varios telescopios/radiotelescopios similares apuntando a un mismo objeto para obtener una imagen de mayor resolución. En la interferometría se mide con gran precisión el pequeño retardo en la llegada de una señal a cada telescopio utilizado para después poderlas combinar, lo que permite producir mapas o imágenes de gran resolución angular, equivalentes a un único telescopio o radiotelescopio del tamaño del conjunto de instrumentos, llamado interferómetro.

Los interferómetros más numerosos y conocidos se componen de radiotelescopios, que trabajan en un único observatorio (con líneas de base de algunos kilómetros), o de manera coordinada a escala continental o incluso mundial (con líneas de base de miles de kilómetros). Las grandes líneas de base permiten disponer, en algunos casos, de resoluciones angulares de fracciones de milésimas de segundos de arco. También hay interferómetros constituidos por telescopios que trabajan con luz infrarroja.

En un interferómetro, la línea de base es la distancia entre cada par de detec-



Estación de seguimiento de Satélites de Robledo de Chavela. De las cuatro antenas que aparecen en la imagen, la mayor es la DSS-63, de 70 m de diámetro, y las otras tres de 34 m son la DSS-61 (la antena de PARTNeR), la DSS-65 y la DSS-55. Créditos: Alejandro Sánchez (Universidad Complutense de Madrid).

tores (telescopios o radiotelescopios). La mayor variedad en líneas de base permite una mejor cobertura espacial. La mayor línea de base de un interferómetro es lo que determina su resolución angular.

J

JÚPITER

El mayor planeta del Sistema Solar se encuentra unas cinco veces más lejos del Sol que la Tierra. Júpiter está compuesto principalmente por hidrógeno y helio. Su masa es el doble de la de todos los planetas restantes juntos. Incluso con pequeños telescopios son observables los cuatro satélites más grandes (los llamados galileanos: Ío, Europa, Ganímedes y Calisto) de los más de 60 que componen el sistema joviano, que también cuenta con tenues ani-



Júpiter y sus satélites Ío, Europa y Ganímedes. La fotografía está realizada alineando y promediando una serie de 300 imágenes de cámara web, durante una noche en la que se podían observar tres de los cuatro satélites galileanos alineados a uno de los lados del planeta Júpiter. Créditos: Enrique Herrero Casas (Universidad de Barcelona).



llos. Desde Tierra son visibles las complejas formaciones meteorológicas en la capa de nubes de amoníaco, entre las que destaca la enorme gran mancha roja que, con varios siglos de antigüedad, es un gigantesco huracán que por su tamaño podría contener nuestro planeta en su interior. Varias misiones han sobrevolado este planeta, en ocasiones empleando su empuje gravitatorio para viajar más rápido a sus destinos. Se planean futuras misiones con el objeto de comprobar las posibilidades biológicas de algunos de sus satélites.



LENTE GRAVITATORIA

Las teorías de la gravitación tanto clásica (de Newton) como relativista (de Einstein) indican que la luz tiene que verse afectada por la atracción gravitatoria. Por lo tanto, cuando un haz de luz pasa junto a un objeto masivo se tiene que desviar. Esta desviación puede compararse con el cambio de dirección de propagación que experimenta la luz cuando pasa del aire al vidrio. Cabe pensar, por tanto, que si se dispone una cierta cantidad de masa del modo adecuado, su gravitación puede ser capaz de desviar la luz de un modo parecido al efecto inducido por la refracción en una lente. Este fenómeno recibe el nombre de lente gravitatoria. Lo que en principio podría parecer una especulación teórica se confirmó en el siglo XX a las escalas astronómicas más diversas. En un contexto cosmológico es frecuente que objetos muy masivos (galaxias, cúmulos de galaxias) se comporten como lentes gravitatorias que deforman, amplían e intensifican las imágenes de objetos situados por detrás. En el seno de la Galaxia se han observado también microlentes gravitatorias, fenómenos de intensificación de la luz debidos al mismo influjo gravitatorio pero actuando en sistemas menos masivos.





Situado a 2000 millones de años-luz de distancia, el cúmulo de galaxias Abell 1689 es uno de los objetos más masivos del universo. En esta imagen del telescopio espacial Hubble se observa cómo Abell 1689 tuerce la luz de objetos más distantes, tal y como lo predice la teoría de la relatividad de Einstein, hasta formar los distintos arcos de luz o imágenes deformadas de las galaxias situadas detrás del cúmulo. Créditos: ESA, NASA, ACS Science Team, N. Benítez (JHU), T. Broadhurst (Hebrew Univ.), H. Ford (JHU), M. Clampin (STScI), G. Hartig (STScI), G. Illingworth (UCO, Lick).

Las lentes gravitatorias son un objeto de estudio intensivo en la astronomía actual y se utilizan para multitud de estudios en cosmología, búsqueda de materia oscura o investigación en el campo de los planetas extrasolares.

LEY DE LA GRAVITACIÓN UNIVERSAL

Ley física enunciada por Isaac Newton que establece que una partícula de masa M_1 ejerce una fuerza de atracción sobre otra de masa M_2, que es directamente proporcional al producto de las dos masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Esta ley es aplicable al estudio del movimiento de los cuerpos en el universo y concretamente, ha sido utilizada para validar las leyes de Kepler del movimiento planetario.

LEY DE HUBBLE

El universo está en expansión, los cúmulos de galaxias se alejan unos de otros porque el espacio que los separa va creciendo. Edwin Powell Hubble y Milton Lasell Humason se percataron de este fenómeno porque la expansión cósmica induce un desplazamiento al rojo en los espectros de las galaxias lejanas. Hubble estableció de manera empírica que el desplazamiento al rojo z es proporcional a la distancia que nos separa de una galaxia, d. Podemos escribir por tanto $z = H_0\, d/c$, donde la constante de proporcionalidad H_0 se denomina constante de Hubble y c corresponde a la velocidad de la luz. Los modelos cosmológicos han puesto de manifiesto posteriormente que la ley de Hubble solo tiene validez en el universo local, para distancias inferiores a unos cientos de millones de años-luz. Sí tiene validez general una ley similar, pero diferente, que se deduce de estos modelos cosmológicos, la llamada relación velocidad-distancia, que indica que la velocidad de separación v entre dos puntos cualesquiera es proporcional a la distancia que los separa, d, con la misma constante de Hubble como factor de proporcionalidad: $v = H_0 d$. Es muy frecuente confundir la relación velocidad-distancia (de validez general) con la ley de Hubble, una relación aproximada de carácter empírico.

La constante de Hubble, H_0, que aparece en las dos leyes comentadas (ley de Hubble y relación velocidad-distancia) mide el ritmo al que se expande el universo actualmente. Su valor se estima en unos 71 kilómetros por segundo y por megapársec. Esto quiere decir que la expansión del universo hace que los cúmulos de galaxias se alejen unos de otros, y lo hacen a un ritmo tal que por cada megapársec de distancia (o sea, cada 3 millones de años-luz) la velocidad de alejamiento se incrementa en 71 kilómetros por segundo. La expansión del universo se ha producido a ritmos diferentes en otros momentos de la historia del cosmos y para medirla se recurre al parámetro de Hubble, H, que representa el mismo concepto que la constante de Hubble



pero aplicado no al cosmos actual, sino al del pasado o el futuro.

LEYES DE KEPLER

Conjunto de tres expresiones matemáticas mediante las cuales el astrónomo alemán Johannes Kepler describió el movimiento de los planetas alrededor del Sol en el siglo XVII.

En la primera ley de Kepler se constata que las órbitas planetarias son elípticas y no circulares, con el Sol situado en uno de sus focos.

La segunda ley, conocida también como ley de las áreas, está relacionada con la conservación del momento angular. Por este motivo, cuando el planeta está más alejado del Sol (afelio), su velocidad es menor que cuando está más cerca (perihelio).

Por último, la tercera ley de Kepler relaciona las propiedades de unas órbitas planetarias con las de otras. Establece que el cuadrado del periodo de revolución de un planeta alrededor del Sol es proporcional al cubo del semieje mayor (o sea, el tamaño) de la órbita.

Las leyes de Kepler no solo se aplican a los planetas que orbitan alrededor del Sol, sino a todo cuerpo celeste que orbite alrededor de otro bajo la influencia de la gravitación.



Luna llena fotografiada con el refractor de 200 mm de abertura del Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia. Créditos: Vicente Aupí (Observatorio de Torremocha del Jiloca).

LUNA

La Luna es el único satélite natural de la Tierra. Se encuentra a 384 400 km de distancia de la Tierra y tiene un diámetro de 3476 km. Tarda en dar una vuelta alrededor de la Tierra unos 27,32 días. Debido a efectos de marea, el periodo de rotación de su eje coincide con el de traslación en torno a la Tierra, por lo que la Luna siempre presenta la misma cara al observador terrestre. A lo largo de su órbita, el cambio de posición de la Luna respecto al Sol ha-

ce que la parte iluminada vaya cambiando, lo que da lugar a las **fases de la Luna** (Luna nueva, cuarto creciente, Luna llena y cuarto menguante).

LUZ

Se suele denominar luz a la radiación electromagnética que es visible al ojo humano, es decir, a aquélla cuya **longitud de onda** se encuentra entre 400 y 700 nanómetros. No obstante, en física se aplica este término de manera general a la radiación electromagnética en todo su rango.

La luz tiene la particularidad de comportarse como onda y como partícula. De esta manera, las partículas de luz, llamadas **fotones**, presentan propiedades tanto ondulatorias como corpusculares. Y por otro lado, los colores que componen la luz (para la luz visible: rojo, amarillo, azul…) se atribuyen a oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos en las distintas frecuencias o, desde el punto de vista corpuscular, a fotones de diferentes energías.



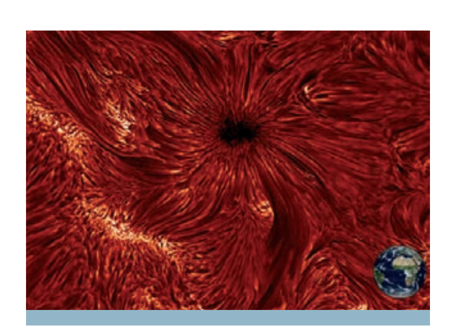
MAGNITUD

Sistema empleado en astronomía para la medida del brillo de los objetos celestes. Las estrellas más brillantes del cielo se clasifican como de primera magnitud, mientras que las más débiles perceptibles a simple vista pertenecen a la sexta magnitud. Entre ambas categorías se encuentran las magnitudes segunda, tercera, cuarta y quinta. Obsérvese que cuanto más brillo aparente muestra un objeto, menor resulta su magnitud. La escala se extiende hacia abajo (magnitud cero y magnitudes negativas) para astros muy brillantes, y más allá de sexta magnitud para objetos débiles que solo se perciben con telescopios.

En la actualidad, los métodos de medida permiten evaluar las magnitudes con decimales. El Sol tiene magnitud -26; la Luna llena -12; los objetos más débiles detectados hasta ahora tienen magnitud 30, aproximadamente. La escala puede adaptarse para evaluar no brillos aparentes, sino luminosidades intrínsecas, y entonces resultan las denominadas «**magnitudes absolutas**».

MANCHA SOLAR

Sobre la superficie visible del Sol se aprecian zonas oscuras llamadas manchas solares que surgen, participan de la ro-



Mancha solar en la región activa AR10675, observada en la línea α (656.3 nm). Tomada con el Telescopio Abierto Holandés (DOT) en el Observatorio del Roque de los Muchachos (Isla de La Palma). En la esquina inferior derecha se ha superpuesto una imagen de la Tierra en la misma escala, para poder comparar sus tamaños. Créditos: Universidad de Utrecht (Holanda).

tación solar, cambian de forma y tamaño, y se disgregan o desaparecen. Suelen durar varios días, aunque las de mayor tamaño pueden mantenerse varias semanas.

Una mancha solar típica presenta una zona interior más oscura, llamada *umbra*, rodeada de una zona de brillo intermedio y aspecto filamentoso, la *penumbra*. Las manchas se ven oscuras por su menor temperatura, unos 3700 K en la umbra, frente a los 5700 K de las zonas circundantes. La intensa concentración de campo magnético, que en las manchas puede ser miles de veces mayor que el campo magnético terrestre, inhibe los movimientos convectivos que calientan la fotosfera desde abajo, lo que causa el enfriamiento relativo que hace las manchas más oscuras. En la umbra, el campo magnético es más intenso y prácticamente vertical, mientras que en la penumbra, su intensidad es menor y sus líneas se van poniendo horizontales.

Las manchas o conjuntos de manchas suelen aparecer en grupos bipolares, con la primera mancha (mancha precedente) en el sentido de la rotación solar con una polaridad magnética y la última mancha (o subsecuente) con la polaridad opuesta.

MARTE

Cuarto planeta del Sistema Solar por distancia al Sol. Durante siglos su color rojizo y cercanía a la Tierra han cautivado la imaginación del ser humano y despertado su fantasía. Guarda numerosas similitudes con nuestro planeta, aunque es más pequeño (aproximadamente la mitad de tamaño). Su atmósfera está compuesta esencialmente por dióxido de carbono pero actualmente es muy poco densa. Cada cierto tiempo, el viento es capaz de elevar importantes cantidades de polvo de la superficie formando enormes tormentas. Existen pruebas que sustentan la presencia de agua líquida en la



Marte fotografiado con telescopio y cámara web en septiembre de 2003. Se aprecia el color de la superficie, el casquete polar, la región de Solis Lacus («el ojo de Marte») y en la imagen de la izquierda se capta el volcán Olympus Mons, llamado Nix Olimpica por los observadores que estudian Marte desde la Tierra. Créditos: Jesús R. Sánchez.

superficie en grandes cantidades en el pasado. En la actualidad, el agua solo se puede encontrar en estado sólido bajo la superficie y en pequeñas cantidades en los polos, aunque también podría fluir brevemente por su superficie. Las posibilidades de vida pasada son también motivo de gran interés y numerosas misiones espaciales han venido estudiando este planeta desde hace décadas.

Marte posee dos pequeños satélites de formas irregulares: Fobos y Deimos.

MATERIA OSCURA

Observaciones recientes sugieren que cerca del 95% del contenido de materia y energía del universo está en el sector «oscuro». Este sector está constituido por



Nube molecular RCW 108. Las nubes moleculares están formadas por gas en forma de hidrógeno molecular y polvo. RCW 108 es una nube molecular que está en trance de destrucción por la radiación del cúmulo estelar cercano NGC 6193, que aparece a la izquierda en la imagen. Créditos: Fernando Comerón (Observatorio Europeo Austral).



materia oscura (una forma de materia no luminosa) y **energía oscura**, cuyo origen y composición son desconocidos. La materia oscura constituye alrededor del 23% del universo y está formada por partículas exóticas no bariónicas, que interaccionan muy débilmente con la materia bariónica ordinaria.

La existencia de la materia oscura se infiere, entre otros indicios, de la **curva de rotación de las galaxias**. Esta curva es una representación gráfica de la velocidad orbital de las estrellas o el gas de una galaxia en función de la distancia al centro de la misma. Las observaciones muestran que las estrellas giran alrededor del centro de las galaxias a una velocidad constante, independiente de la distancia al centro, hasta una distancia muy grande, mucho mayor que la predicha por la mecánica newtoniana para la masa visible de la galaxia en cuestión. Esta discrepancia sugiere la presencia de materia oscura que puebla las galaxias y se extiende hasta los halos de las mismas.

MEDIO INTERESTELAR

El medio interestelar es el espacio que hay entre las estrellas dentro de una galaxia, con todo lo que contiene. Aunque parece vacío hay gas (99%) y polvo (1%) distribuidos de un modo muy irregular. El gas está compuesto mayoritariamente por hidrógeno y algo de helio, y el polvo por partículas de hidrógeno, carbono y silicatos. Ambas componentes constituyen la **materia interestelar**.

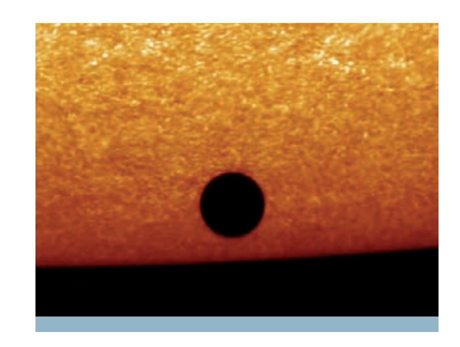
En las galaxias elípticas, el medio interestelar es relativamente pobre en gas y polvo, pero en las espirales, la materia interestelar es abundante y se concentra sobre todo en el disco de la galaxia y en los brazos espirales. Se estima que en galaxias como la nuestra un 10-15% de su masa reside en el medio interestelar. Esta materia interestelar constituye el material de partida para la formación de estrellas.

La densidad del medio interestelar oscila entre una milésima y un millón de átomos de hidrógeno por cm^3 (la masa de un átomo de H es de $1{,}67\times10^{-24}$ gramos), que es pequeñísima comparada con las densidades terrestres, como por ejemplo la del agua, que es de 1 g/cm^3, o la del oro, que es de 19,3 g/cm^3.

La materia interestelar afecta a la luz que la atraviesa. Debido a la materia interestelar las estrellas se ven más débiles y enrojecidas, procesos que llamamos **extinción interestelar** y **enrojecimiento interestelar**. Se trata de una combinación de absorción y esparcimiento de la luz al incidir en los granos de polvo del medio interestelar. Las nubes interestelares son más eficientes dispersando y absorbiendo luz azul que luz roja, así que mucha menos luz azul logra pasar a través de ellas.

MERCURIO

Planeta del Sistema Solar más cercano al Sol. Es el planeta más pequeño y posee la segunda mayor densidad, ligeramente inferior a la de nuestro planeta. Su órbita es bastante elíptica, con un radio medio de casi 0,4 unidades astronómicas. Posee una tenue atmósfera básicamente compuesta de potasio y sodio y las temperaturas oscilan fuertemente entre la cara nocturna y diurna. Su forma-



Tránsito de Mercurio por delante del Sol. Imagen tomada en la Torre Solar Sueca (1 m) en el Observatorio del Roque de Los Muchachos (La Palma). Créditos: Instituto de Física Solar de la Academia Sueca de Ciencias.

ción geológica más reseñable es la cuenca Caloris, formada probablemente por el impacto de otro cuerpo. Observado desde la Tierra solo puede verse en las cercanías del crepúsculo de la tarde o del amanecer, nunca demasiado lejos de nuestra estrella. En la actualidad, la misión Messenger de NASA está aportando una enorme cantidad de información sobre este planeta.

Mercurio carece de satélites naturales.

METEORITO

Las partículas pequeñas (hasta unos diez metros) que orbitan alrededor del Sol reciben el nombre de *meteoroides*. Estas partículas están asociadas a los cometas y asteroides, pero también pueden haber sido arrancadas de satélites o planetas tras choques violentos con otros cuerpos.

Cuando una de estas partículas extraterrestres penetra en la atmósfera terrestre, se calienta por roce con el aire, se torna incandescente y da lugar a un destello de luz denominado *meteoro* o *estrella fugaz*. Se llaman bólidos aquellos meteoros cuya luminosidad sea superior a la del planeta Venus.

En ocasiones, el meteoroide responsable de una estrella fugaz o de un bólido no se volatiliza por completo en el proceso y sobrevive entero o fragmentado hasta llegar al suelo. A ese fragmento de roca proveniente del espacio lo llamaremos *meteorito*. La observación de los bólidos permite a veces reconstruir las trayectorias y deducir la zona de la superficie donde han caído, lo que ayuda a la recuperación de meteoritos para su posterior estudio. Los meteoritos pueden ser rocosos, metálicos, o una mezcla de ambos. Su estudio nos informa sobre la composición e historia de los cuerpos del sistema solar. Se han recuperado más de 31 000 meteoritos; la caída de más de 1000 de ellos fue observada por algún testigo.



Un fragmento del meteorito de Puerto Lápice fotografiado in situ por Alejandro Sánchez. El ejemplar se exhibe actualmente en el Museo Nacional de Ciencias Naturales. Créditos: Alejandro Sánchez (Universidad Complutense de Madrid).





La nebulosa de emisión M17 en Sagitario es una masa de hidrógeno ionizado en una zona de formación estelar. Créditos: Red de Telescopios Robóticos del Centro de Astrobiología (CSIC, INTA).

NEBULOSA

Las nebulosas son concentraciones de gas (principalmente hidrógeno y helio) y polvo. Algunas son restos de estrellas que al final de su vida han explotado y otras, por el contrario, son lugares de **formación estelar**. Por atracción gravitatoria, las condensaciones de gas y polvo van comprimiéndose dando lugar a las nuevas estrellas. Las nebulosas pueden ser de emisión, de reflexión, o nebulosas oscuras.

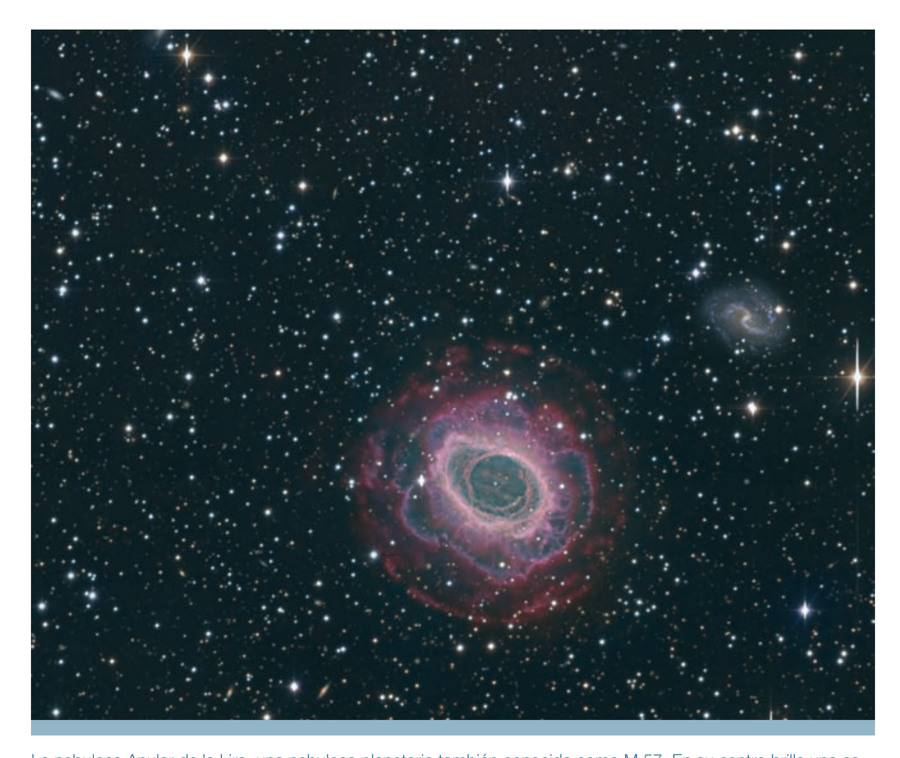
Las **nebulosas de emisión** pueden estar asociadas a estrellas moribundas (como las nebulosas planetarias y restos de supernovas) o a estrellas en formación (regiones HII). En ambos casos, brillan debido a que son excitadas por la radiación de las estrellas cercanas. Un ejemplo típico de nebulosa de emisión es la nebulosa de Orión. Las **nebulosas de reflexión**, como su nombre indica, reflejan la luz de estrellas próximas; es el caso de la nebulosa que rodea a las Pléyades. Las **nebulosas oscuras** no emiten ni reflejan y solo se pueden ver como una mancha negra delante de un fondo brillante estrellado o nebular. Un ejemplo típico es la nebulosa de la Cabeza de Caballo o el Saco de Carbón en la Cruz del Sur.

Antes de la invención del telescopio se llamaba nebulosa a todo objeto de apariencia difusa, por eso también se llamaba nebulosas a algunas galaxias.

NEBULOSA PLANETARIA

Son las capas externas que expulsan las estrellas de masa baja e intermedia (menos de 8 o 9 masas solares) al final de su vida, al terminar su combustible nuclear, después de la etapa de **gigante roja**. El resto de la estrella se transforma en una **enana blanca** que emite radiación ultravioleta e ioniza el gas de la nebulosa planetaria, la cual, en el proceso posterior de recombinación, produce emisiones espectaculares en luz visible, ya que los elementos químicos que las componen (hidrógeno, nitrógeno, oxígeno) emiten radiaciones cada uno en un color diferente característico (color, o sea, longitud de onda). El gas de la nebulosa se va expandiendo hasta desaparecer después de varias decenas de miles de años, en el centro queda la estrella enana blanca. Estas nebulosas, en general, son anillos o burbujas, pero debido a las características del material circundante o al carácter binario del astro progenitor, pueden ser también elipsoidales, bi-





La nebulosa Anular de la Lira, una nebulosa planetaria también conocida como M 57. En su centro brilla una estrella enana blanca, el cadáver de la estrella gigante roja que hace miles de años expulsó las capas exteriores que ahora conforman la nebulosa. En el campo de visión aparecen múltiples estrellas de nuestra Galaxia, así como muchas otras galaxias de fondo, entre ellas la espiral barrada IC1296 (arriba a la derecha de la nebulosa). Créditos: Observatorio de Calar Alto, Red de Espacios de Divulgación Científica y Técnica de Andalucía, Escuela Documentalista de Astrofotografía (DSA).

polares o hasta cuadrupolares.

Las nebulosas planetarias deben su nombre a que en el siglo XVIII el astrónomo W. Herschel, debido a su forma aproximadamente esférica, las confundió con los discos planetarios.

NEPTUNO

Último planeta del Sistema Solar, que forma, junto con Urano, la familia de los planetas gigantes helados. Ambos planetas guardan entre sí numerosas similitudes. Debido a su largo periodo de traslación alrededor del Sol (más de 164 años terrestres) aún no hemos tenido ocasión de observar Neptuno dos veces en la misma posición de su órbita desde que fue descubierto en 1846. Curiosamente, se dice que este planeta podría haber sido descubierto por Galileo más de dos siglos antes, porque lo observó pero confundió el tenue planeta con una estrella poco brillante. Entre sus satélites destaca el enigmático Tritón, que presenta una intensa actividad geológica. Fue la Voyager 2 la sonda que envió imágenes de este planeta (con una inmensa tormenta similar a la Gran Mancha Roja de Júpiter, que posteriormente desapareció) y de sus satélites, y descubrió seis de ellos.

NOMENCLATURA ASTRONÓMICA

Hay dos categorías de nombres astronómicos: los populares y los científicos. Lo mismo ocurre en otras ciencias naturales, como la zoología o la petrología: algunas especies vivas de especial relevancia, o las rocas más usadas y frecuentes en la vida cotidiana reciben nombres populares de carácter local, pero la comunidad científica otorga a todos estos objetos de estudio nombres cifrados, oficiales, normalizados, que se utilizan en las publicaciones científicas para evitar confusiones.



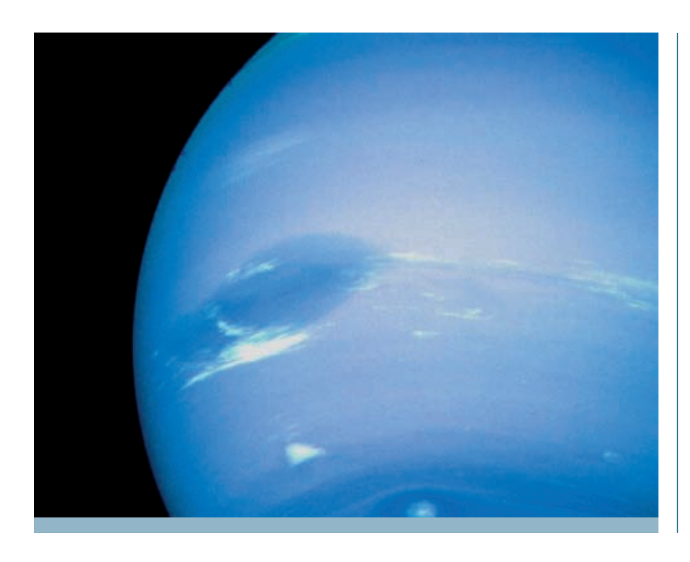


Imagen de Neptuno tomada en 1989 por la sonda Voyager 2 (NASA) donde se ve la gran mancha oscura. Créditos: Voyager 2, NASA.

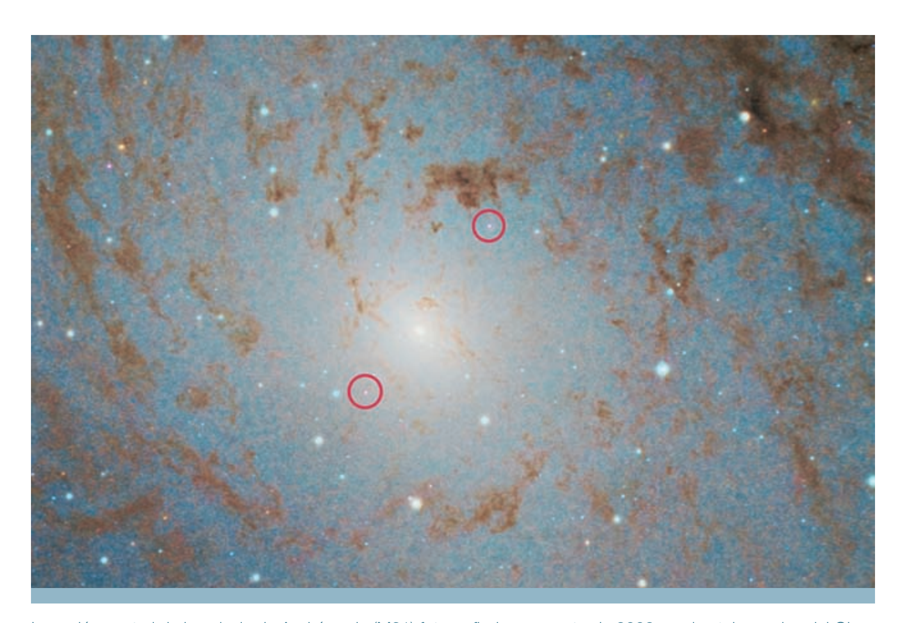
Lo mismo ocurre en astronomía. Los objetos celestes más llamativos y relevantes tienen nombres tradicionales que varían más o menos de un lugar a otro, de una sociedad a otra: estrellas brillantes, asterismos, planetas... Sin embargo, todos esos objetos y muchísimos otros requieren un sistema de nomenclatura científica establecido sobre reglas fijas y reconocido por toda la comunidad astronómica.

La Unión Astronómica Internacional (UAI o también IAU por sus siglas en inglés) es el organismo reconocido internacionalmente para definir reglas específicas de nomenclatura astronómica y para asignar nombres a los cuerpos celestes descubiertos y a los accidentes del relieve hallados en ellos. Las designaciones oficiales suelen parecerse a códigos cifrados con poco atractivo o romanticismo, pero así debe ser porque el objetivo final del sistema de nomenclatura consiste en facilitar la identificación de los objetos para estudios futuros. Los nombres específicos, pronunciables y románticos pueden ser adecuados para conjuntos pequeños de objetos bien conocidos, como los planetas o las estrellas que se ven a simple vista, pero carecen de sentido para conjuntos de muchos millones de cuerpos celestes como estrellas débiles o galaxias.

Hay varias empresas que ofrecen bautizar estrellas a cambio de dinero. Tales nombres carecen de validez de cualquier tipo. Como una organización internacional científica, la UAI se desliga de la práctica comercial de vender nombres ficticios de estrellas, o fincas en mundos del Sistema Solar, como hacen algunas compañías (que además compiten entre sí). La actuación de estas compañías es equivalente a una iniciativa que consistiera en vender el derecho a poner nombre a los árboles de Siberia, o a los pingüinos de la Antártida. Aparte de que la actividad en sí tiene poco sentido (nadie iba a usar tales nombres), se trata de una acción claramente engañosa y dirigida a ganar dinero, nada más.

NOVA

Del latín *nova* («nueva»), se denominó así a las estrellas nuevas que aparecían en el cielo, aunque estas estrellas ya existían y lo que se observaba, en realidad, era un incremento muy brusco en el brillo aparente. En la actualidad, se conoce que este fenómeno está asociado a estallidos en una enana blanca, que forma parte de un sistema binario y se encuentra recibiendo masa de la estrella compañera. El proceso de intercambio de materia termina por pro-

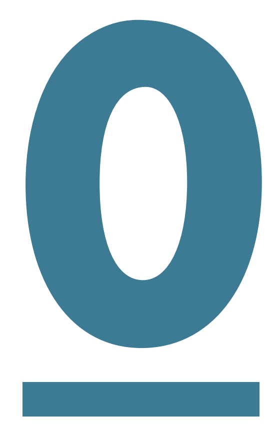


La región central de la galaxia de Andrómeda (M31) fotografiada en agosto de 2009 con los telescopios del Observatorio de Calar Alto. Se aprecian las dos novas presentes en la galaxia vecina en esas fechas, a un lado y otro del núcleo, señaladas con circunferencias. La visión de la galaxia de Andrómeda desde el exterior permite detectar y estudiar casi todas las novas que estallan en ella, al contrario de lo que sucede con las novas que se producen en nuestra propia Galaxia, la mayoría de las cuales queda oculta por la extinción debida a las nebulosas. Créditos: Observatorio de Calar Alto, RECTA, OAUV, DSA, Vicent Peris.

vocar reacciones de fusión nuclear en la superficie de la estrella enana blanca. Cuando este efecto se repite en el tiempo, se conoce como nova recurrente. El mecanismo de las novas guarda similitud con el de algunas supernovas (las supernovas termonucleares, es decir, las de tipo Ia), pero se diferencia en que los detalles del proceso de intercambio de materia inducen una deflagración termonuclear solo en la superficie estelar, de modo que la enana blanca sobrevive al trance. Además, las explosiones de novas son mucho menos potentes que las de supernovas de tipo Ia.

NUBE DE OORT

Es el conjunto de cuerpos menores, en su mayoría muy similares a los objetos transneptunianos (TNO de sus siglas en inglés) y cometas, que se encuentran en una región esférica externa al cinturón transneptuniano y que se extiende hasta los confines mismos del Sistema Solar (aproximadamente 1 año-luz). Su existencia fue postulada por Jean Oort en 1950 y aunque no se han observado objetos en ella, dado que por sus pequeños tamaños son muy débiles, sí se han observado muchos objetos provenientes de ella. Se trata de los cometas de largo periodo. Fue a partir de las órbitas de éstos que Oort postuló la existencia de esta reserva de cuerpos helados. Algunos de ellos, por efectos perturbadores externos (por ejemplo, el paso por sus cercanías de estrellas próximas) son enviados hacia el interior del Sistema Solar y se transforman en cometas. Podría albergar entre uno y cien billones (10^{12} – 10^{14}) de objetos, siendo su masa total unas cinco veces la de la Tierra. Son, al igual que los objetos transneptunianos, reliquias de los cuerpos que dieron lugar a los planetas y que han sobrevivido sin ser engullidos por éstos.



OBJETO TRANSNEPTUNIANO

Los objetos transneptunianos (TNO, del inglés *trans-neptunian objects*) son los cuerpos que pueblan la región llamada **cinturón transneptuniano** (también conocido como **cinturón de Kuiper** o de Edgeworth-Kuiper), que es una región en forma de anillo que se extiende desde la órbita de Neptuno hasta unas 47 au, y que está en el plano de la **eclíptica** (plano de la órbita terrestre). Se trata de cuerpos de hasta unos 2000 km de diámetro compuestos básicamente de hielo de agua y de otros volátiles como metano (CH_4) y nitrógeno (N_2), además de silicatos. Cuando la nube de gas y polvo que originó el Sistema Solar se condensó en el disco, las partículas heladas y de silicatos que estaban en la región fueron colisionando y agregándose hasta formar millones de objetos helados que quedaron orbitando alrededor del Sol. Muchos fueron absorbidos por los planetas, la mayoría fueron eyectados hacia zonas más alejadas del Sistema Solar. Considerando lo alejados que siempre han estado del Sol, y sus pequeños tamaños, el material que los forma es el menos modificado y poseen, por tanto, información única sobre el origen y evolución del Sistema Solar.

Existen al menos 3 tipos de TNO en esa región: los «clásicos», cuyas órbitas son bastante circulares y poco inclinadas; los «resonantes», objetos cuyas órbitas están en resonancia con el movimiento de Neptuno (es decir, tienen periodos del tipo 2:1 o 3:2, o sea, dan una vuelta alrededor del Sol en el mismo tiempo que Neptuno da 2, etc.); y los «dispersados», TNO con órbitas muy alargadas y que pueden estar más inclinadas respecto de la eclíptica, por ejemplo el mayor TNO conocido, Eris. La existencia del cinturón fue postulada en 1980 por Julio Fernández, quien demostró que los **cometas** de corto periodo son objetos provenientes de este cinturón. El primero de estos objetos, 1992 QB_1, fue observado por Jean Luu y David Jewitt en 1992.

OBSERVATORIOS ASTRONÓMICOS EN ESPAÑA

En el territorio español existen diversos observatorios astronómicos profesionales, cada uno con su propia historia y características peculiares. Ofrecemos una relación sintética de estos centros científicos, con alguna información breve sobre su historia y características.

Real Instituto y Observatorio de la Armada (San Fernando, Cádiz)
Constituido en 1753 a propuesta de Jorge Juan. Es el observatorio más antiguo



Vista panorámica del observatorio astronómico del Teide (Tenerife). Créditos: Instituto de Astrofísica de Canarias.



Imagen panorámica del observatorio de Calar Alto (Almería). En él se encuentra el Centro Astronómico Hispano Alemán (CAHA). Créditos: Observatorio de Calar Alto.

de España. Mantiene una actividad reducida de carácter observacional en astronomía, pero una gran labor presente y futura como responsable del patrón de tiempo en España, generación de efemérides y múltiples estudios en astronomía de posición y mecánica celeste.

Observatorio Astronómico Nacional (Alcalá de Henares, Madrid)
Fundado en 1790 y dependiente del Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento), administra un telescopio nocturno de 1,5 m en Calar Alto y los radiotelescopios del centro de Yebes, donde opera radiotelescopios de 14 m y de 40 m de abertura.

Observatori Fabra (Barcelona)
Fundado en 1904 en la sierra de Collserola, Barcelona, pertenece a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona. En la actualidad desarrolla una actividad observacional restringida en astronomía, aunque prosigue su labor investigadora.

Observatori de l'Ebre (Roquetes, Tarragona)
Fundado en 1904, en la actualidad lo gestiona una fundación en la que participan el CSIC, la Agencia Estatal de Meteorología y la Universitat Ramon Llull, entre otros organismos oficiales y privados. Hoy día su actividad astronómica se restringe al seguimiento de la actividad solar.

Observatori Astronòmic de la Universitat de València (Paterna, Valencia)
Fundado en 1909, el OAUV ha pasado por distintas fases y en la actualidad cuenta con dos telescopios de investigación en su estación de observación en Aras de los Olmos.

Observatorio Ramón María Aller (Santiago de Compostela, La Coruña)
Pertenece a la Universidade de Santiago de Compostela. Fundado en 1943. Ha efectuado desde sus inicios investigación especializada en estrellas dobles, la cual continúa con el telescopio de 62 cm.

Centro Astronómico Hispano Alemán (Observatorio de Calar Alto, Almería)
Observatorio de titularidad compartida española (Consejo Superior de Investigaciones Cientificas) y alemana (Max-Planck-Gesellschaft). Opera cuatro telescopios nocturnos de 80 cm a 3,5 m, ubicados en la Sierra de los Filabres, Almería. La institución se creó en 1973.



El primer telescopio entró en funcionamiento en 1975.

Observatorio de Sierra Nevada (Granada)
El Instituto de Astrofísica de Andalucía, perteneciente al CSIC y fundado en 1975, posee y opera un observatorio nocturno en las faldas del pico Veleta, Granada, con telescopios de uso general de 90 cm y 1,5 m de abertura (junto a otros más pequeños para proyectos específicos).

Instituto de Radioastronomía Milimétrica (Granada)
El IRAM (Institute de Radioastronomie Millimétrique) es una institución franco-germano-española que cuenta con un radiotelescopio submilimétrico de 30 m de diámetro en las faldas del pico Veleta, cerca de Granada, inaugurado en 1984.

Observatorio del Teide y Observatorio del Roque de los Muchachos (Canarias)
Los observatorios astronómicos de las Islas Canarias son dos, el Observatorio del Teide en Tenerife y el Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma. El Observatorio del Teide se encuentra en la zona de Izaña, alberga varios telescopios de 30 cm a 1.5 m inaugurados desde 1972 y pertenecientes a diversas instituciones y países del mundo. El Observatorio del Roque de los Muchachos, inaugurado en 1985, es uno de los más importantes del mundo y alberga telescopios pertenecientes a muchos países distintos, con aberturas entre 18 cm y 10,4 metros. El de mayor abertura es el telescopio más grande del mundo, el Gran Telescopio Canarias. Ambos observatorios canarios incluyen instrumentos para uso nocturno y para observación solar.

Observatori del Montsec (Àger, Lérida)
Inaugurado en 2008, cuenta con un telescopio robótico de 80 cm situado en la sierra del Montsec, Lérida. Operado por un consorcio con participación de la Universitat del Barcelona, el Institut d'Estudis Espacials de Catalunya y otras entidades oficiales y privadas.



PARALAJE

Se llama paralaje al ángulo formado por las líneas de observación a un objeto desde dos puntos suficientemente separados. En el caso en que la separación sea el radio terrestre se la llama **paralaje diurna** (o geocéntrica); cuando es el radio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol se trata de la **paralaje anua** (o heliocéntrica). La paralaje es un nombre femenino, y se mide en segundos de arco. La paralaje anua de una estrella es el ángulo bajo el cual se vería, desde esa estrella, el radio de la órbita terrestre. En astronomía se utiliza la paralaje para calcular distancias. Se define así la unidad de distancia pársec, siendo la distancia a una estrella en pársecs, la inversa de la paralaje trigonométrica medida en segundos de arco.

Dicho de otra manera, se define un **pársec** (o parsec) como la distancia desde la que habría que observar el Sistema Solar para que la órbita terrestre subtendiera un ángulo de un segundo de arco.

Para grandes distancias se utilizan paralajes espectroscópicas (utilizando la relación entre el **tipo espectral** y la **magnitud absoluta**), paralajes dinámicas (aplicando las **leyes de Kepler** a sistemas binarios), paralajes cinemáticas (utilizando el **movimiento propio** y la velocidad de la estrella) o de grupos (para estrellas de cúmulos).

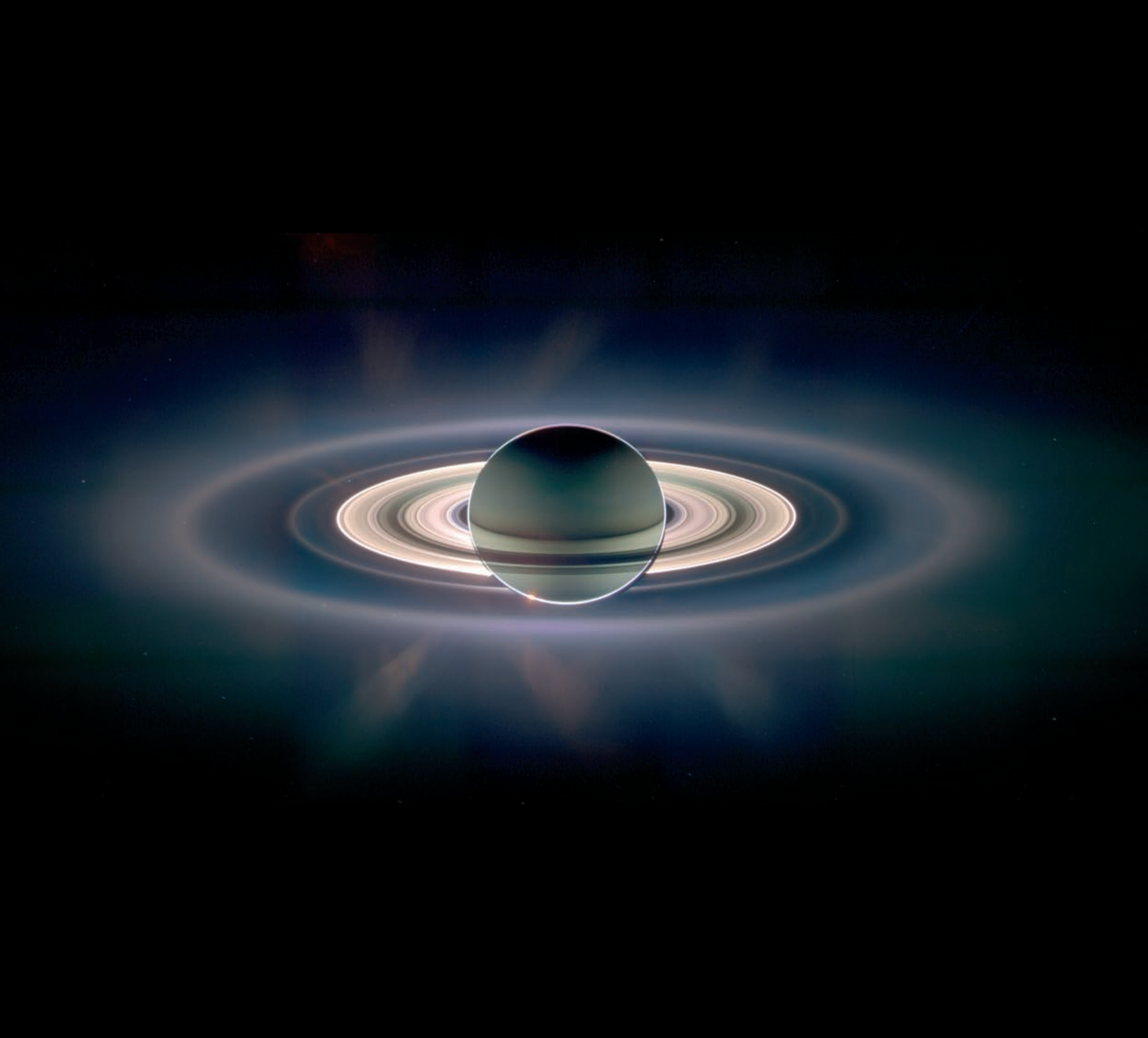
PLANETA

La Unión Astronómica Internacional, en su asamblea plenaria celebrada en Praga en agosto del año 2006, estableció una definición del término planeta, al menos en lo referente al Sistema Solar. Así, un planeta es un cuerpo celeste que: (a) orbita alrededor del Sol; (b) posee suficiente masa como para que su propia gravedad domine las fuerzas presentes como cuerpo rígido, lo que implica una forma aproximadamente redondeada determinada por el equilibrio hidrostático; (c) es el objeto claramente dominante en su vecindad, habiendo limpiado su órbita de cuerpos similares a él. Según esta definición, **Plutón** deja de ser un planeta, para pasar a ser el prototipo de un nuevo tipo de objetos: los planetas enanos. Dentro de la categoría de **planetas enanos** se encuentran Plutón, Ceres y Eris. Por tanto, el Sistema Solar se queda con ocho planetas: Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

En nuestro sistema solar hay dos tipos de planetas, gaseosos y rocosos, y de los dos tipos se han descubierto planetas orbitando otras estrellas diferentes al Sol.

Los **planetas gaseosos** son aquellos constituidos principalmente por gases, en particular hidrógeno y helio. En nuestro Sistema Solar pertenecen a esta categoría Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, aunque en estos últimos el hielo es un componente sustancial en su composición. Los planetas gaseosos, dependiendo de sus mecanismos de formación, no tienen por qué poseer un núcleo sólido rocoso, sino que pueden consistir en un continuo de gases paulatinamente más densos que adquieren finalmente las propiedades de un fluido cuando se encuentra a alta presión. En el caso de Júpiter y Saturno, el hidrógeno gaseoso en estado molecular da paso a un estado conocido como «hidrógeno metálico» con unas propiedades particulares. La inmensa mayoría de los planetas extrasolares descubiertos hasta la fecha son planetas gaseosos debido, al menos en parte, a que los actuales métodos de detección discriminan mejor planetas de mayor masa.

Los **planetas rocosos**, también llamados telúricos, son los planetas formados principalmente por silicatos, en los que las atmósferas son secundarias



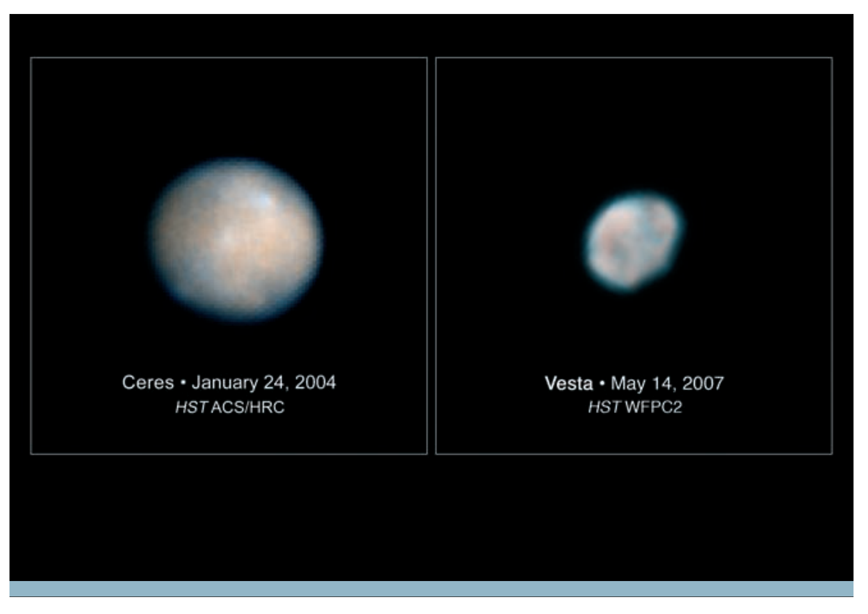


Saturno, observado por la misión Cassini-Huygens, con el Sol oculto por el eclipse debido al disco del planeta. Aunque existe una cierta cantidad de material alrededor de este gigante gaseoso en forma de numerosos satélites y múltiples anillos, Saturno domina todo el conjunto. Créditos: Cassini Imaging Team, SSI, JPL, ESA, NASA.

y están influidas por la actividad geológica y, en el caso de la Tierra, por la actividad biológica. En el Sistema Solar existen cuatro planetas rocosos: Mercurio, Venus, la Tierra y Marte.

PLANETA ENANO

Un planeta enano es un cuerpo celeste que cumple las siguientes condiciones: (a) orbita alrededor del Sol; (b) posee suficiente masa como para que su propia gravedad domine las fuerzas presentes como cuerpo rígido, lo que implica una forma aproximadamente redondeada determinada por el equilibrio hidrostático; (c) no ha limpiado su órbita de otros objetos; (d) no es un satélite de un planeta. Así, Plutón (descubierto en el año 1930 por C. Tombaugh), Ceres (el primer asteroide, hallado en el año 1801 por G. Piazzi) y Eris (o Éride, identificado en 2005 por M. Brown) pasan a ser planetas enanos. En particular, Plutón pierde su estatus como planeta debido a que no cumple una de las características que sí presentan los ocho planetas del Sistema Solar: no es el objeto dominante en su región del espacio o, dicho de otro modo, no ha logrado barrer su órbita, sino que comparte la zona con multitud de otros objetos del mismo tipo, los cuerpos que conforman el cinturón de objetos transneptunianos.



Ceres, un planeta enano, y Vesta, un asteroide de gran tamaño. Ambos se encuentran entre las órbitas de Marte y Júpiter, en el Cinturón de Asteroides, en donde se localizan multitud de objetos de distintas masas y formas. Créditos: Imagen de Ceres de J. Parker (NASA, ESA), imagen de Vesta de L. McFadden (NASA, ESA).

Plutón se ha convertido en el prototipo de los **plutoides**, que consistirían en aquellos planetas enanos (por tanto, de características análogas a las de Plutón) localizados más allá de la órbita del planeta Neptuno (cuya distancia es unas 30 veces la que separa a la Tierra del Sol, o 30 unidades astronómicas). Así, los plutoides son planetas enanos transneptunianos. Por tanto, Ceres, situado en el cinturón de asteroides (unas 2.8 au), no entraría dentro de esta categoría.

Actualmente solo Plutón, Eris, Makemake y Haumea son considerados oficialmente plutoides. En principio, todo objeto transneptuniano que tenga un diámetro aproximado de unos 800 km es candidato a ser considerado un plutoide y se le asignará un nombre como



si lo fuera. Se espera que más plutoides reciban nombres a medida que la ciencia progrese y se realicen nuevos descubrimientos.

PRECESIÓN

En astronomía se conoce como la variación principal que experimenta la Tierra en la dirección de su eje de rotación. Debido a este fenómeno, las coordenadas de las estrellas varían con el transcurso del tiempo. En el año 129 a. C., Hiparco, comparando sus observaciones con otras anteriores (700 años a. C.), detectó un desplazamiento de 50.4 segundos de arco por año, y lo interpretó como una rotación de toda la esfera en sentido antihorario; como cada año el Sol llega al equinoccio antes que el año anterior lo denominó «precesión de los equinoccios». En tiempos de Hiparco, el equinoccio de primavera se encontraba en la constelación de Aries y hoy se encuentra en Piscis. En 1600, Copérnico dio la interpretación del fenómeno: el eje de rotación de la Tierra describe, en 25 800 años, un movimiento retrógrado, manteniéndose sobre la superficie imaginaria de un cono con 23,45° de abertura, las estrellas permanecen fijas pero los polos se desplazan entre ellas. La explicación está en la dinámica de Newton: la Tierra no es esférica, su eje de rotación no es perpendicular a los planos orbitales del Sol y la Luna, cuya atracción gravitatoria sobre el abultamiento ecuatorial da lugar a un par de fuerzas sobre el eje de rotación.

PÚLSAR

Son **estrellas de neutrones** en rápida rotación y con su intenso campo magnético inclinado respecto al eje de rotación. Los púlsares fueron descubiertos en 1967 por Jocellyn Bell Burnell como fuentes de radio que pulsaban rápidamente a frecuencias constantes. Los púlsares realmente no pulsan sino que emiten ondas de radio que escapan por los polos del potente campo magnético de la estrella. Debido a que el eje del campo magnético no coincide con el eje de rotación, estos potentes chorros de ondas de radio describen un círculo alrededor del eje de rotación de la estrella y desde el observador aparecen y desaparecen como la luz de un faro. Los periodos de rotación típicos de los púlsares van desde el milisegundo a unos pocos segundos. Un ejemplo de púlsar muy conocido es el que se ha encontrado en la nebulosa del Cangrejo. Este púlsar se encuentra en el mismo punto en el que los astrónomos chinos registraron una brillante supernova en el año 1054 y permitió establecer la relación entre supernovas, estrellas de neutrones y púlsares.



R

RADIACIÓN DE FONDO DE MICROONDAS

Radiación electromagnética procedente del universo primigenio, generada durante la Gran Explosión (también conocida como *Big Bang*). Descubierta en 1965 y motivo de un premio Nobel a los ingenieros Arno Penzias y Robert Wilson en 1978, corresponde a la emisión de un cuerpo negro a una temperatura de 2,7 K (-270,5 ºC). Dada su gran uniformidad en todo el cielo, es considerada la prueba más evidente del modelo cosmológico asociado a la Gran Explosión. La radiación de fondo data de unos 300 000 años después del estado inicial del universo. Su observación detallada aporta multitud de información acerca del universo primitivo, la formación de estructuras en el cosmos y la geometría del universo a gran escala.

RADIOASTRONOMÍA

Disciplina astronómica que estudia y mide la emisión electromagnética en el rango radioeléctrico o de radiofrecuencias de todos los objetos celestes, tanto en su emisión en continuo como en líneas espectrales. Las fuentes astronómicas normalmente estudiadas corresponden al gas y polvo interestelares, aunque también hay algunas estrellas, galaxias y cuásares que emiten en radiofrecuencias.



El Centro de Comunicaciones de Espacio Profundo de Madrid, localizado en Robledo de Chavela (a 40 km de Madrid), es una de las tres estaciones de seguimiento que componen la Deep Space Network (DSN) de NASA, JPL. Créditos: Luis F. Rojo (MDSCC), Juan Ángel Vaquerizo (Centro de Astrobiología).

Las radiofrecuencias se definen como la región del espectro electromagnético correspondiente a las mayores longitudes de onda (o menores frecuencias). Las longitudes de onda van desde décimas de milímetro hasta varios metros (frecuencias de cientos de gigahercios a pocos kilohercios).

El instrumento utilizado en radioastronomía se llama radiotelescopio. Debido a la debilidad de las señales de radio, junto a las grandes longitudes de onda, los radiotelescopios tienen decenas (o centenares) de metros de diámetro. Son capaces de analizar la emisión en continuo

y de líneas espectrales, mediante un complejo sistema de receptores de bajo ruido y analizadores digitales.

RAYOS CÓSMICOS

Partículas subatómicas extremadamente energéticas que viajan por el universo con velocidades cercanas a la de la luz. Entre esas partículas se cuentan algunos electrones, pero sobre todo se trata de corpúsculos de carga positiva, es decir, núcleos atómicos completos, cuyas abundancias se corresponden a grandes rasgos con la composición química promedio del universo; predominan, pues, los protones o núcleos de hidrógeno. Los rayos cósmicos en estado primario no alcanzan la superficie terrestre, sino que se desintegran al chocar con la atmósfera. Sin embargo, se pueden estudiar de manera directa desde globos, aeroplanos o satélites artificiales. También se pueden analizar a partir de los fenómenos que provoca su desintegración en el aire.

Para detectar los rayos cósmicos se induce la interacción de las partículas que los componen con algún material de comportamiento conocido, y luego se estudian los productos resultantes del choque. Un método muy usado en el pasado consistía en registrar el proceso en emulsiones fotográficas. Hoy día se emplean dispositivos más sofisticados que suelen basarse en el destello que se produce cuando un rayo cósmico atraviesa el material que conforma el núcleo del detector. El estudio del destello permite deducir parámetros como la velocidad, energía y dirección del rayo cósmico. Desde el suelo también se pueden detectar los rayos cósmicos, aunque en este caso no de manera directa, sino a través del análisis de los fenómenos que se producen durante la desintegración del rayo cósmico en la atmósfera. Podríamos decir que en este caso el aire actúa como núcleo del detector, y los aparatos analizan los productos de la desintegración. Se deduce de este modo, de manera aproximada, la dirección de procedencia del rayo y su energía.

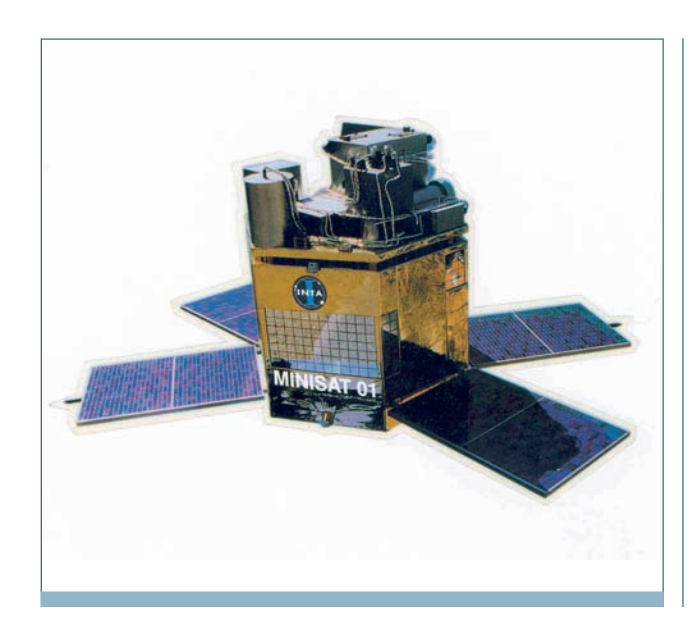
Aún no está claro el origen de los rayos cósmicos, aunque las hipótesis más firmes apuntan hacia las partículas emitidas en fenómenos violentos como las explosiones de supernovas o los procesos que suceden en el núcleo galáctico. Los rayos cósmicos de menos energía tienen su origen en el Sol.



Telescopios de radiación Cherenkov MAGIC, en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma), dedicados al estudio de los rayos cósmicos. Créditos: MAGIC Telescope Project.



S



MINISAT 01, el primer satélite tecnológico español, fue lanzado el 21 de Abril de 1997 desde la base aérea de Gando, Gran Canaria. De pequeño tamaño y un peso total de 200 kg, el satélite estaba equipado con 3 instrumentos científicos: EURD, un espectrógrafo que trabajaba en el ultravioleta extremo (longitudes de onda inferiores a 1200 Angstrom); LEGRI, una cámara de imagen en rayos gamma dotada de una máscara codificada y CPLM, un experimento para estudiar el comportamiento de los fluidos en ausencia de gravedad. Crédito: Proyecto MINISAT 01, INTA.

SATÉLITE

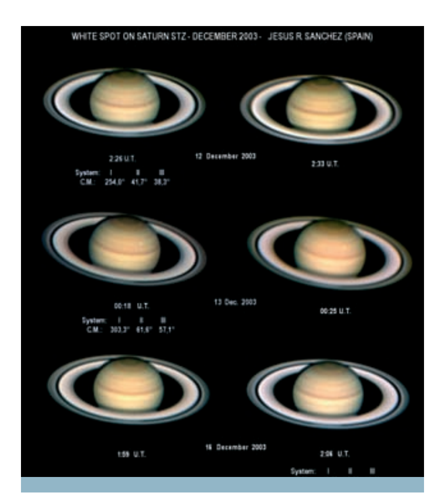
Es todo cuerpo, artificial o natural, que gira alrededor de otro mayor atrapado por su gravitación. Sus más claros ejemplos son los **satélites naturales** de los planetas. Todos los planetas tienen uno o más satélites naturales, excepto Mercurio y Venus. A los satélites naturales también se les llama lunas. A los cuatro satélites mayores de Júpiter se les llama **satélites galileanos** por haber sido descubiertos por Galileo. Distinguimos estos satélites naturales de los **satélites artificiales**, que son naves espaciales puestas en órbita alrededor de la Tierra, la Luna, otro planeta o de los puntos de Lagrange. El primer satélite artificial fue el Spútnik, lanzado por la Unión Soviética en 1957. Los satélites artificiales tienen tamaños que oscilan entre los picosatélites, de menos de un kg de peso, y los grandes satélites de más de una tonelada. Las órbitas, por su inclinación, pueden ser ecuatoriales, inclinadas o polares, y por su altitud, pueden ser de órbita baja (hasta 2000 km), de órbita media (entre 2000 km y la geocéntrica a 35 786 km) y de órbita alta. Los satélites, por su utilización, pueden ser científicos, de observación de la



tierra o de comunicaciones. También merece la pena hacer una distinción entre satélite y **sonda espacial**. Las sondas son naves espaciales que se envían al espacio profundo y no tienen retorno, un buen ejemplo de ellas fueron las sondas Voyager 1 y 2, que después de pasar por las cercanías de los planetas Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno ya se encuentran fuera del Sistema Solar, con lo que se han convertido en sondas interestelares y continuarán enviando datos a la Tierra hasta que se acabe su combustible, aproximadamente en el año 2025.

SATURNO

Sexto planeta del Sistema Solar, no mucho menor en tamaño que Júpiter pero mucho menos denso, con una densidad inferior a la del agua. Está compuesto fundamentalmente de hidrógeno pero hay pruebas de la existencia de un núcleo rocoso en su interior. De entre el complejo sistema de cuerpos que orbitan en torno al planeta Saturno, destacan los anillos. La inclinación del eje de Saturno respecto del plano de su órbita es bastante considerable, y por ello los anillos pueden contemplarse desde la Tierra en diferentes configuraciones a lo largo de los años, hecho éste que desconcertó a los primeros observadores del cielo con telescopio, como



Secuencia de imágenes de color en las que se puede apreciar la mancha blanca de Saturno. Créditos: Jesús R. Sánchez.

Galileo. Actualmente, la misión Cassini de la NASA se encuentra investigando tanto la atmósfera como los satélites de este planeta. A principios de 2005, la sonda Huygens de la ESA se posó en la superficie del satélite Titán, que desveló un fascinante mundo y un posible ciclo «hidrológico» basado en el metano.

SISTEMA PLANETARIO

Es el conjunto formado por una estrella (o un sistema estelar binario) y todos los planetas y cuerpos menores que orbitan a su alrededor. En nuestro sistema planetario, llamado **Sistema Solar**, los cuerpos que giran alrededor del Sol son los planetas y sus satélites, los planetas enanos, los asteroides y los cometas y otros cuerpos menores. La mayoría de objetos del Sistema Solar se encuentran contenidos aproximadamente en un plano conocido como plano de la **eclíptica**. El Sistema Solar se extiende hasta un año-luz de su centro, el Sol. Si bien son miles de millones los cuerpos que componen el Sistema Solar, más del 99% de la masa del mismo está concentrada en el Sol. Los planetas, la mayoría de los satélites y todos los asteroides orbitan alrededor del Sol en la misma dirección siguiendo órbitas elípticas en sentido antihorario si se observa desde encima del polo norte del Sol.

Además de nuestro propio sistema planetario, recientemente se han descubierto más de 400 planetas alrededor de otras estrellas (**exoplanetas o planetas extrasolares**), gracias a varias técnicas de observación entre las que destacan la espectroscopia de alta resolución y la fotometría (medida de brillos) de alta precisión. Algunos de ellos se encuentran en verdaderos sistemas planetarios, que contienen una estrella central y dos o más planetas. Con anterioridad a la identificación del primer exoplaneta por métodos espectroscópicos en 1995, se habían des-

cubierto **discos circunestelares** alrededor de estrellas, tanto de acreción (restos de la formación de la propia estrella) como aquéllos formados por el material usado para generar los planetas (denominados **discos de residuos, o de *debris***). Lo que es más sorprendente es que incluso se han detectado sistemas planetarios que también incluyen discos circunestelares y que, por tanto, se encontrarían en una etapa evolutiva temprana, en la cual los exoplanetas todavía estarían en proceso de formación o habrían terminado recientemente de formarse.

SOL

Es una de los 200 000 millones de estrellas de nuestra Galaxia. El Sol dista unos 27 000 años-luz del centro galáctico. Nació hace 4650 millones de años a partir de una nube de materia interestelar en un proceso que dio forma a la vez a todo el Sistema Solar. Se encuentra en la mitad de su vida estable y dentro de un tiempo similar se convertirá en gigante roja y, posteriormente, en nebulosa planetaria, con una enana blanca en su interior. La Tierra orbita a su alrededor a una distancia de unos 150 millones de km. Es la única estrella cuya superficie podemos estudiar en detalle, por estar a esta «pequeña» distancia. Es una estrella ordinaria por su tamaño, masa, temperatura… y su potencia luminosa se ha mantenido prácticamente constante durante los últimos 3500 millones de años, posibilitando la aparición de vida en la Tierra. Genera energía mediante reacciones de fusión nuclear que transforman hidrógeno en helio en su núcleo, a 15 millones de grados.



Imagen del disco solar completo en luz visible. En ella se pueden apreciar algunas manchas solares. Créditos: José Muñoz Reales (ASTER).

El Sol es una estrella activa (magnética) y el número e intensidad de los fenómenos magnéticos (como las **manchas solares**, intensas concentraciones magnéticas observadas en su superficie visible o fotosfera) varía cada 11 años aproximadamente, con el llamado **ciclo solar**. El Sol influye notablemente en la Tierra y es, realmente, la estrella de nuestra vida.

En astronomía el Sol se clasifica como estrella de tipo espectral G2 y clase de luminosidad V (es decir, «enana» o, en otras palabras, una estrella de la secuencia principal).

SUPERNOVA

Explosión estelar de carácter cataclísmico, extremadamente energética y que hace desaparecer la estrella progenitora. Existen dos tipos principales de supernovas: las gravitatorias y las termonucleares.

Las **supernovas gravitatorias** (técnicamente, supernovas de tipos II, Ib, Ic) son explosiones que se producen al final de la vida de las estrellas muy masivas. Las estrellas con más de ocho masas solares culminan los ciclos de reacciones nucleares con la producción de elementos del grupo del hierro. La fusión de átomos más allá de este grupo consume energía, de modo que la estrella entra en crisis, la presión interna deja de sostener su estructura y se produce un colapso violento. Ese colapso culmina con un rebote de las capas externas en una explosión colosal bajo condiciones físicas tan extremas que se generan todos los elementos de la tabla periódica.

Las **supernovas termonucleares** tienen lugar en sistemas estelares binarios en los que una de las componentes es

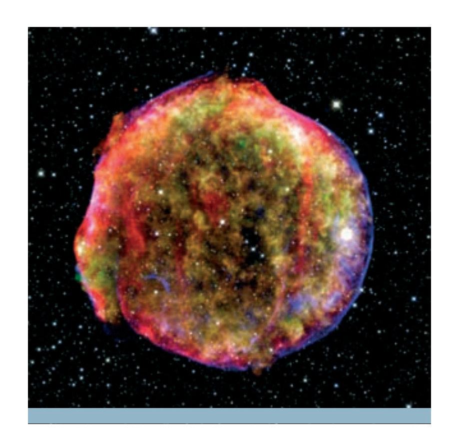


Imagen multi-banda del remanente de la supernova de Tycho, compuesta a partir de imágenes tomadas con el telescopio de 3,5 m de Calar Alto y la cámara Omega 2000 (infrarrojo), el telescopio espacial Spitzer (infrarrojo) y el telescopio espacial Chandra (rayos X). Créditos: Observatorio de Calar Alto, Spitzer Space Telescope, Chandra X-Ray Observatory.

una enana blanca. La enana blanca puede robar materia de las capas externas de su compañera. Si la acumulación de materia sobre la enana blanca se produce en las condiciones adecuadas, puede desembocar en la ignición termonuclear de toda la estrella.

Las supernovas dejan tras de sí objetos compactos en forma de estrellas de neutrones o incluso agujeros negros, y son las responsables del enriquecimiento del medio interestelar en átomos pesados, entre ellos muchos de los necesarios para el sostenimiento de la vida.





Cúpula del Gran Telescopio Canarias (GTC). El GTC es un telescopio de espejo primario segmentado de 10,4 metros de diámetro y constituye el telescopio óptico-infrarrojo más grande del mundo. Créditos: Oficina de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de Canarias. Autor, Ángel L. Aldai.

TELESCOPIO

Instrumento óptico capaz de aumentar la luminosidad y tamaño aparentes de los objetos que se observan. Las raíces de su nombre, *tele* («lejos») y *scopio* («observar»), lo definen perfectamente. Uno de los primeros científicos en usar un telescopio de una cierta calidad óptica con finalidades astronómicas fue Galileo Galilei alrededor de 1609 y, aunque se le ha considerado el inventor de este instrumento, se sabe que en las décadas anteriores se fabricaban y usaban instrumentos similares al de Galileo en varios países de Europa, entre ellos España.

Cuanto mayor es el diámetro de un telescopio más luz recoge, lo que hace que se puedan observar objetos más débiles. Actualmente, el telescopio óptico más grande del mundo es el Gran Telescopio Canarias, situado en la isla de La Palma, cuyo espejo primario tiene un diámetro de 10,4 metros. Su tamaño le permite distinguir los faros de un coche a 20 000 kilómetros.

Si el poder de captación de luz es importante, también resulta relevante en un telescopio su capacidad de distinguir entre dos objetos muy juntos. Esta característica se conoce como ***poder de resolución*** o ***resolución angular***. Depende del tamaño del instrumento (diámetro en un telescopio simple, mayor línea de base en un interferómetro) y de la longitud de onda de trabajo. La mejora en resolución angular permite el estudio más detallado de regiones de menor tamaño aparente. En el caso de los telescopios que trabajan con luz visible, a partir de cierto diámetro, el poder de resolución viene limitado más por la turbulencia atmosférica que por la óptica. Por lo tanto, para lograr las imágenes más detalladas con luz visible se han instalado telescopios en el espacio, fuera de la atmósfera, como el telescopio espacial Hubble o su sucesor, el telescopio James Webb.



Representación del sistema heliocéntrico copernicano en el *Atlas coelestis seu armonia macrocosmica*, de Andreas Cellarius (Amsterdam, 1661).

TEORÍAS GEOCÉNTRICA Y HELIOCÉNTRICA

Los antiguos trataban de explicar el movimiento aparente de los astros sobre la hipótesis de que la Tierra era el centro fijo del universo. Esta teoría, denominada *geocéntrica*, fue formulada por Aristóteles, completada y ratificada por Ptolomeo y, a pesar de contar con detractores, en la antigüedad se consideró de manera generalizada como correcta. Finalmente su aceptación por la Iglesia y el feudalismo la convirtieron en la teoría dominante hasta el Renacimiento. Según el geocentrismo, los movimientos de los cuerpos celestes podían expli-

carse por combinaciones de círculos (epiciclos) centrados en la Tierra. Éstos explicaban sus movimientos con bastante precisión, pero el descubrimiento de las leyes del movimiento celeste por Kepler y la mejora en las observaciones hicieron cada vez más difícil sustentar la validez de esta teoría. Las combinaciones de círculos necesarias se tornaban cada vez más complicadas y llegaron a ser un problema inabordable.

La teoría *heliocéntrica*, desarrollada por Copérnico, explica los fenómenos y los movimientos de los cuerpos celestes tomando al Sol como centro del sistema. El heliocentrismo ya fue formulado en la antigüedad por Heráclides de Ponto y Aristarco de Samos, pero Copérnico lo sacó definitivamente a la luz. Su idea de trasladar el centro del sistema de la Tierra al Sol explicaba con sencillez fenómenos astronómicos importantes como la alternancia de las estaciones en la Tierra y los movimientos retrógrados aparentes de los planetas. Además, para que el heliocentrismo funcionase, las dimensiones del universo tenían que ser mucho mayores, lo que constituiría el primer paso hacia la infinitud del universo. A pesar de que los cálculos que se derivaban del sistema copernicano seguían siendo complejos, la simplicidad de las bases, su coherencia y belleza matemática fueron suficientes para desbancar definitivamente al geocentrismo. Los apoyos definitivos al modelo heliocéntrico llegaron con el descubrimiento de las leyes de Kepler, las observaciones telescópicas de Galileo Galilei y el advenimiento de la física newtoniana.

TIEMPO ASTRONÓMICO

La astronomía clásica tiene sus orígenes en el estudio de las posiciones y los movimientos de los astros. Está, por tanto, vinculada de un modo muy íntimo con el paso del tiempo y su medida.

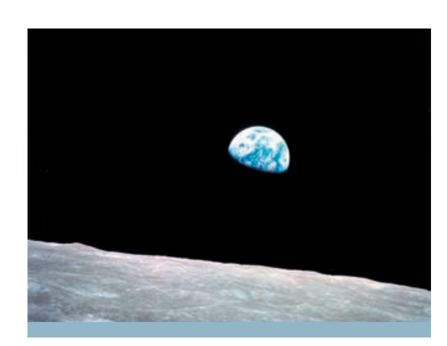
Hoy día, el tiempo astronómico se mide con relojes atómicos (el patrón de tiempo oficial en España se mantiene en el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando), pero las raíces históricas de la medida del tiempo en astronomía se basan en la repetición de ciclos celestes. El patrón básico fue durante muchos años la rotación de la Tierra. El giro de la Tierra en torno a su eje da lugar a la definición del día como unidad básica. La posición de los astros respecto a un observador situado sobre la Tierra en rotación se repite cada cierto intervalo de tiempo, denominado **día**. En astronomía se utilizan dos tipos de día: sidéreo y solar. El **día sidéreo** toma como referencia las estrellas lejanas, mientras que el **día solar** se basa en la posición del Sol. Como el Sol se desplaza respecto de la Tierra por el movimiento anual, ambos intervalos no coinciden. El día sidéreo es casi 4 minutos más corto que el día solar. El día solar se divide en 86 400 segundos.

Los días se agrupan en varias unidades temporales más largas, como la semana o el mes, de relevancia secundaria (aunque basadas en el movimiento aparente de la Luna). El siguiente intervalo temporal significativo es el año.

El **año solar** es el intervalo de tiempo empleado por el Sol en completar su órbita aparente en torno a la Tierra. Este recorrido se repite cada 365,2422 días, aproximadamente. Es una unidad fundamental para la cronología y para establecer el calendario que regula las actividades sociales y económicas. Se puede definir también un **año sidéreo**, basado en las estrellas, pero su duración coincide casi con la del año solar y esta diferencia solo tiene interés para estudios especializados.

TIERRA

Tercer planeta del Sistema Solar por distancia a nuestra estrella, y hogar de la especie humana. La Tierra traza una ór-



Primera imagen de la Tierra tomada por la tripulación del Apolo 8, el 24 de Diciembre de 1968 desde la órbita lunar. Créditos: Apolo 8, NASA.

bita levemente elíptica en un año, y gira sobre su propio eje una vez cada 24 horas. La atmósfera de la Tierra está compuesta fundamentalmente por nitrógeno y oxígeno moleculares, gases que proceden en su inmensa mayoría de la actividad biológica. El planeta es activo geológicamente y presenta movimientos en la corteza explicados mediante la teoría de la tectónica de placas. La temperatura en la superficie de nuestro planeta se encuentra muy cerca del llamado punto triple del agua, lo que permite encontrar este elemento en sus tres estados fundamentales (sólido, líquido y gaseoso). Hasta donde sabemos en la actualidad, este pequeño planeta rocoso es el único lugar donde existe o se ha desarrollado la vida.

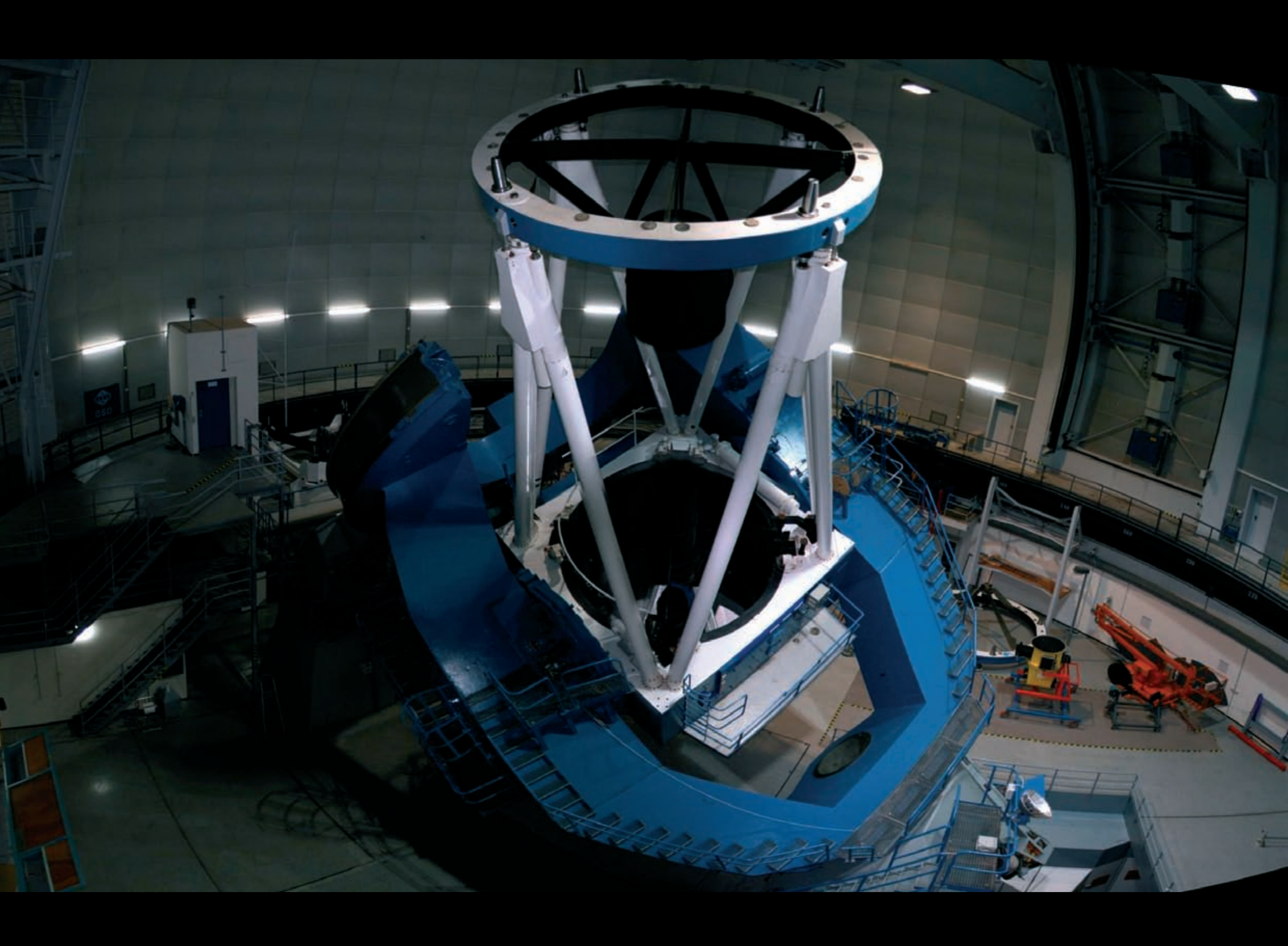
La Tierra tiene unos 12 000 km de diámetro y posee un solo satélite natural, aunque bastante grande, la Luna.

TIPOS DE TELESCOPIO

Existen diferentes tipos de telescopio, que se distinguen en primera instancia por la clase de dispositivo óptico que emplean para recoger la luz: espejos o lentes.

Cuando la luz se recoge mediante lentes se le denomina ***telescopio refractor***. Históricamente fue el primer tipo de telescopio. Continúa siendo la base de muchos de los telescopios de pequeño diámetro usados por los astrónomos aficionados. Es barato y no requiere mantenimiento, excepto la limpieza de las lentes, pero su diámetro máximo está limitado por razones tecnológicas: no es posible elaborar vidrios de calidad homogénea mayores de un metro. Además, las lentes grandes son pesadas y difíciles de sujetar por los bordes y presentan aberración cromática: la luz se descompone en sus colores al atravesar la lente y forma imágenes de diferente color en distintos puntos del plano focal. La corrección de esta aberración es compleja e incluye la construcción de una lente formada por capas de varios tipos de vidrio.

Cuando la luz se capta por medio de espejos se habla de ***telescopio reflector***. La superficie colectora es un espejo primario que la redirige, a través de otros espejos de menor diámetro, hasta el plano focal. Con espejos se puede aumentar mucho el diámetro del telescopio, con un límite de unos 8 metros para espejos monolíticos, o sea, de una sola pieza. La solución adoptada en telescopios mayores consiste en combinar un conjunto de segmentos que simulan una superficie de gran tamaño. Éste es el caso del Gran Telescopio Canarias (10,4 m de diámetro). La mayoría de estos telescopios constan de dos espejos: el primario y el secundario que, según su forma y disposición, determinan el sub-tipo de telescopio reflector. Los más extendidos son los diseños de tipo Newton, Gregory y Cassegrain.





Telescopio Zeiss de 3,5m del Observatorio de Calar Alto (Almería). Créditos: Observatorio de Calar Alto.



UNIDAD ASTRONÓMICA

La unidad astronómica de distancia es una unidad de longitud que se utiliza en astronomía para objetos con dimensiones similares a las del Sistema Solar. Circulan muchos símbolos informales para esta unidad de medida, pero solo uno tiene carácter oficial, reconocido como tal por la Unión Astronómica Internacional (UAI): au (las letras *a* y *u*, ambas minúsculas, seguidas y sin puntos).

La unidad astronómica se definió en sus orígenes como la distancia media Sol-Tierra. Sin embargo, esta definición no es satisfactoria porque la distancia Sol-Tierra, incluso su valor medio, cambia con el tiempo, dado que la órbita terrestre está sometida a múltiples perturbaciones periódicas y seculares. Por eso hoy se establece una definición basada en otras constantes físicas independientes de carácter primario, lo que hace que 1 au tenga un valor muy semejante, pero no idéntico, a la distancia media de la Tierra al Sol. El valor más reciente adoptado por la UAI (agosto de 2009, XXVII Asamblea General) es de 149 597 870,700 kilómetros, con una incertidumbre estimada de 3 metros.

El origen de esta unidad se remonta a los siglos XVI-XVII, cuando no se conocían con precisión las distancias desde el Sol a los diversos objetos del Sistema Solar y se medían tomando como patrón la distancia media Sol-Tierra. Como ejemplos, la distancia media Sol-Mercurio es de 0.4 au, mientras que la del Sol a Neptuno (el último de los planetas) asciende a unas 30 au.

UNIVERSO

El universo se define como todo lo que existe físicamente: la totalidad del espacio y del tiempo, de todas las formas de la materia, la energía, y las leyes y constantes físicas que las gobiernan. Sin embargo, el término «universo» puede ser utilizado en sentidos contextuales ligeramente diferentes, para referirse a conceptos como el cosmos, el mundo o la naturaleza. Observaciones astronómicas de los últimos años indican que el universo tiene una edad aproximada de 13 730 millones de años y por lo menos 93 mil millones de años-luz de extensión. Se cree que el origen del universo fue una Gran Explosión (en inglés *Big Bang*). Antes de éste toda la materia y la energía del universo observable se hallaban concentradas en unas condiciones de densidad extremadamente elevada. Después de la Gran Explosión el universo comenzó a expandirse para llegar a su condición actual, y continúa haciéndolo.

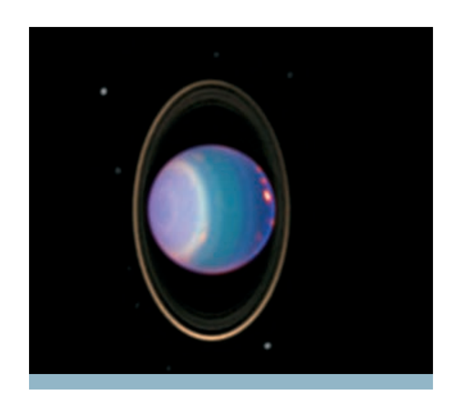


Imagen en falso color de Urano, sus anillos y lunas tomada por el telescopio espacial Hubble. En esta imagen se pueden apreciar también las grandes tormentas convectivas que tienen lugar en la atmósfera del planeta. Créditos: E. Karkoschka y colaboradores (Universidad de Arizona), NICMOS, HST, NASA.

URANO

El séptimo planeta del Sistema Solar. Tarda más de 80 años terrestres en dar una vuelta completa alrededor del Sol con su eje de rotación tan inclinado que «rueda» sobre su órbita. Junto con Neptuno, forma el grupo de los planetas llamados gigantes helados, compuestos no solo por hidrógeno y helio sino también por una apreciable cantidad de hielo y rocas. De los planetas desconocidos por las civilizaciones antiguas, Urano fue el primero en descubrirse a finales del siglo XVIII, por W. Herschel. Tanto la posición del planeta en su órbita como su campo magnético son anómalos, lo que ha llevado a especulaciones sobre posibles colisiones con otros cuerpos en el pasado. Al igual que Júpiter y Saturno, posee bastantes satélites (casi 30 conocidos hasta ahora) y anillos. Solo la sonda Voyager 2 a mediados de los años 80 se ha acercado a este planeta. Las observaciones más recientes con el telescopio espacial Hubble han revelado una atmósfera rica en metano.





VELOCIDAD RADIAL

Velocidad con la que un objeto celeste, típicamente una estrella, se aleja o acerca a la Tierra. Análogamente, se denomina **velocidad radial heliocéntrica** a la velocidad con que un objeto celeste se aleja o acerca al Sol. La velocidad radial se mide a lo largo de la línea visual del observador, es decir, según la línea imaginaria que une al observador (o el Sol en el caso de la velocidad radial heliocéntrica) con el objeto celeste. En contraposición, la **velocidad tangencial** es la velocidad con la que dicho objeto se mueve en dirección perpendicular a la línea visual.

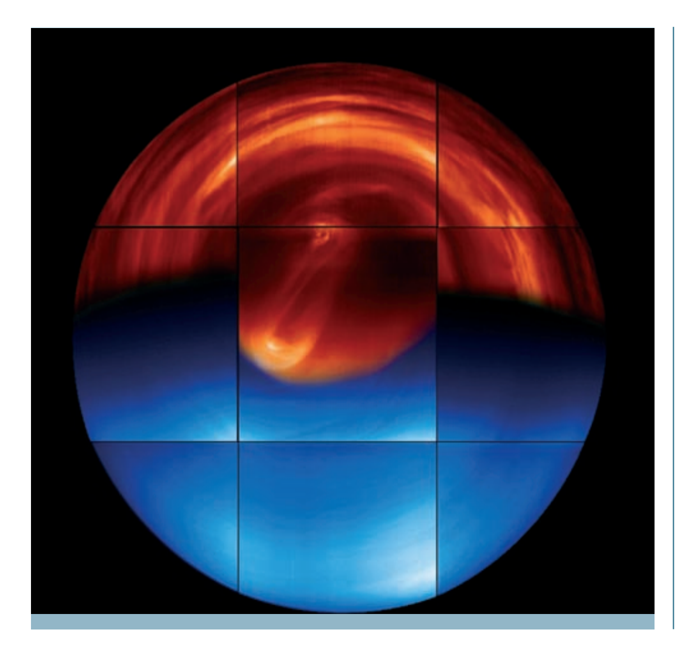


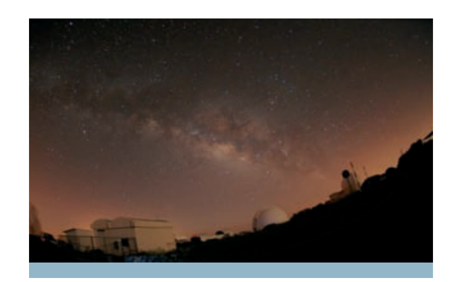
Imagen de Venus tomada por el instrumento VIRTIS de la misión Venus Express de ESA en el que participan varios investigadores españoles de la Universidad del País Vasco y del Instituto de Astrofísica de Andalucía. Muestra a Venus simultáneamente en la emisión térmica de su lado nocturno y en la reflexión ultravioleta del lado diurno. Créditos: Ricardo Hueso (Universidad del País Vasco), ESA, VIRTIS, INAF-IASF, Obs. de Paris-LESIA.

VENUS

Segundo planeta del Sistema Solar por distancia al Sol y el más parecido en tamaño y composición a la Tierra. Se encuentra a una distancia promedio de 0,7 au de nuestra estrella, en una órbita prácticamente circular. Venus rota en sentido contrario al resto de planetas y tan lentamente que una vuelta alrededor de su eje (el «día venusiano») dura más que una traslación completa del planeta alrededor del Sol (el «año venusiano»). La superficie es relativamente joven, lo que señala la presencia de fenómenos de renovación geológica. La atmósfera de Venus está compuesta básicamente por dióxido de carbono, con densas nubes de ácido sulfúrico que cubren todo el planeta. Este planeta tan parecido al nuestro es un ejemplo de lo que se denomina «efecto invernadero desbocado» que produce temperaturas en su superficie de casi 500 ºC. Éste fue el primer planeta donde se posó con éxito un vehículo espacial (sonda Venera 7, diciembre de 1970), así como el primero desde cuya superficie se transmitieron imágenes a la Tierra (sonda Venera 9, octubre de 1975). Venus carece de satélites naturales.

VÍA LÁCTEA

Desde la antigüedad se denomina Vía Láctea a una ancha zona de luz difusa que atraviesa la esfera celeste y que cruza varias constelaciones. Abraza todo un círculo máximo y se observa mejor durante las noches de verano y de invierno. Actualmente se sabe que dicha banda difusa está compuesta, en realidad, por miles de millones de estrellas indiscernibles



Vista de la Vía Láctea desde el Observatorio de Izaña (Tenerife). Créditos: Alejandro Sánchez (Universidad Complutense de Madrid).

por el ojo humano sin la ayuda de un telescopio o unos prismáticos. La Vía Láctea se corresponde con lo que se ha dado en denominar disco galáctico (la región de nuestra Galaxia en la que se encuentran la mayoría de sus estrellas). Por ello, con frecuencia se usa el nombre de Vía Láctea para referirse a nuestra Galaxia en su conjunto, distinguiéndola de las demás galaxias.

VIENTO SOLAR Y VIENTO ESTELAR

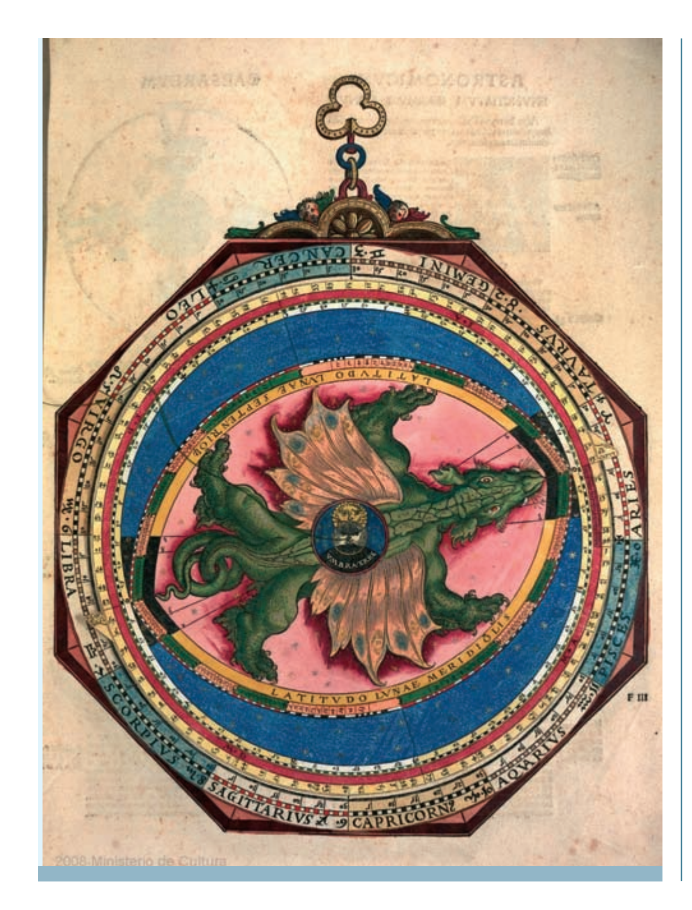
Las estrellas no son sistemas cerrados. De ellas escapa luz, pero también materia. Los átomos e iones de la superficie de la estrella escapan hacia el espacio exterior, bien siguiendo las líneas del campo magnético, como en el Sol y estrellas similares, bien impulsados por la radiación de la estrella, como en el caso de estrellas muy calientes.

Esta materia que escapa de la estrella, conocida como viento estelar (o viento solar si se refiere al Sol) es pequeña en el caso del Sol, aunque muy importante para la exploración espacial. Pero en otros casos puede llegar a constituir una fracción importante de la masa de una estrella. En casos extremos, la pérdida de masa por viento estelar puede acercarse a una milésima de masa solar en un año. Algunas estrellas inyectan de este modo grandes cantidades de energía mecánica en su entorno.



Imagen de NGC7635 o Nebulosa de la Burbuja, tomada con el telescopio IAC80 del Observatorio del Teide. Esta curiosa nebulosa se formó a partir de la estrella BD+602522, que emite un viento estelar de gas ionizado. La estrella expulsa dicho gas de forma extremadamente rápida, lo que hace que sea empujado hacia el exterior formando la coraza en forma de burbuja, lo que le da su nombre. Créditos: Daniel López (Instituto de Astrofísica de Canarias).

Z



Representación de las constelaciones del zodiaco. Imagen del *Astronomicum Caesareum* (1540) de Pedro Apiano (ca. 1495-1552), libro que se encuentra en la biblioteca del Real Instituto y Observatorio de la Armada.

ZODÍACO

El zodíaco (o zodiaco) es la franja de la esfera celeste que se extiende, aproximadamente, unos 9 grados a ambos lados de la eclíptica (el plano de la órbita terrestre proyectado sobre el firmamento). Por esta zona se desplazan el Sol, la Luna y los planetas en su movimiento con respecto al fondo de estrellas. Como su nombre indica (del griego *zodiakos*, «círculo de animales»), casi todas las constelaciones que la forman tienen nombre de animales.

Su origen se halla en un calendario de 12 meses creado por los babilonios alrededor del año 2000 a. C. Éstos dividieron el zodíaco en 12 partes iguales, bautizadas según las constelaciones que entonces contenían y que conocemos como signos zodiacales (Aries, Tauro, etc...). Desde entonces, la precesión de los equinoccios ha modificado esta franja de forma que ya no corresponden las mismas constelaciones a las mismas épocas del año: en primavera el Sol no pasa por la constelación de Aries sino por la de Piscis. Actualmente son 13 las constelaciones zodiacales, es decir, las que cruza la eclíptica, de acuerdo con los límites arbitrarios aprobados en 1930 por la Unión Astronómica Internacional (UAI). De acuerdo con esa demarcación, la constelación de Ofiuco quedó alargada hasta cortar la eclíptica.

ZONA DE HABITABILIDAD

Zona del espacio alrededor de una estrella, tal que cualquier planeta que se encuentre en su interior es susceptible de albergar vida. Dos condiciones indispensables son la presencia de agua líquida y una fuente de energía, aunque esto es, naturalmente, una extrapolación de las condiciones de la vida en la Tierra y si se descubre la existencia de vida en au-

sencia de agua, habría que cambiar esta definición.

El descubrimiento del primer **planeta extrasolar** en 1995 por Michel Mayor y Didier Queloz y el gran número y variedad de planetas descubiertos a continuación en pocos años, hizo que el concepto de zona de habitabilidad dejase de ser una elucubración filosófica y pasase a ser una posibilidad científica. No todas las estrellas pueden tener una zona de habitabilidad; las condiciones para ello son: que han de vivir al menos unos cuantos miles de millones de años para dar tiempo a la aparición y evolución de la vida, han de emitir radiación ultravioleta en cantidad crítica y suficiente para la formación del ozono y, lo más importante para nuestro tipo de vida, han de permitir la existencia de agua líquida en la superficie de los planetas. Con estas características, las estrellas posibles van desde los primeros tipos espectrales F, pasando por todas las estrellas G, hasta tipos K medios. El Sol es una estrella G2. Además, no han de ser variables en luminosidad y deben tener alta metalicidad para poder tener planetas rocosos. Porque suponemos que los planetas habitables han de ser de tipo terrestre. El tamaño del planeta ha de ser suficientemente grande como para que pueda retener una atmósfera considerable, mantener el calor interno y disponer de un campo magnético que lo proteja del viento estelar. Otra condición necesaria para la habitabilidad es tener pequeña excentricidad orbital, es decir, que la distancia a su estrella no varíe mucho. La órbita de la Tierra es casi circular. La velocidad orbital ha de ser tal que el ciclo día-noche no resulte muy largo para que no se produzcan diferencias de temperatura muy grandes entre el día y la noche.



ÍNDICE TEMÁTICO



F

G

H

I

J

L



M

N

O

P

R

S

T

U

V

Z



Diseño: Gabriel Pérez / IAC

Constelación de Orión y asociación estelar Sigma Orionis. Créditos: M. R. Zapatero Osorio, V. J. S. Béjar, E. L. Martín R. Rebolo, D. Barrado y Navascués, C. A. L. Bailer-Jones, R. Mundt, Instituto de Astrofísica de Canarias.



Región de formación estelar en la galaxia NGC 4214. Créditos: Jesús Maíz Apellániz (Instituto de Astrofísica de Andalucía), HST, NASA.



Nebulosa de la Laguna (M8). Créditos: Enrique Herrero Casas (Universidad de Barcelona).



Nebulosa planetaria NGC 6445. Créditos: Martín A. Guerrero (Instituto de Astrofísica de Andalucía).



Nebulosa Norteamérica.
Créditos: Observatorio de Calar Alto.



Omega Nebula
(M 17, NGC 6618)
[O III] (blue) + Hα (green) + [S II] (red)
FoV 18' x 11' - 2 fields CCD @ IAC80- OT
Ángel R. López-Sánchez (ATNF/IAC) & José A. Caballero (MPIA)

Nebulosa Omega (M17). Créditos: Ángel R. López Sánchez y José A. Caballero (Centro de Astrobiología).



Galaxia de Andrómeda (M31). Créditos: Enrique Herrero Casas (Universidad de Barcelona).